



¹²
H. 9. 11

R50071

GESCHICHTE
DER
PHYSIKALISCHEN
EXPERIMENTIERKUNST



VON

DR. E. GERLAND

UND

DR. F. TRAUMÜLLER

PROFESSOR A. D. KÖNIGL. BERGAKADEMIE
IN KLAUSTHAL

PROFESSOR AM NIKOLAIGYMNASIUM
IN LEIPZIG

MIT 425 ABBILDUNGEN
ZUM GRÖSSTEN THEIL IN WIEDERGABE NACH DEN ORIGINALWERKEN.

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1899.

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten.

VORWORT.

Das vorliegende Buch verdankt seine Entstehung dem Wunsche, die Entwicklung eines Zweiges der Geschichte der Physik in eingehender Behandlung vorzuführen, der bisher in zusammenhängender Darstellung noch nicht bearbeitet worden ist. Es will einmal die Wege beschreiben, auf denen die Physik ihre gegenwärtige Höhe erklommen hat, es will sodann die dazu notwendigen Werkzeuge und deren Behandlung schildern. Dieser Versuch dürfte insofern nicht überflüssig sein, als die vorhandenen Geschichten der Physik entweder auf diesen grundlegenden Teil der Forschung nicht eingehen, oder, wenn sie dies thun, ihn in der nötigen Ausführlichkeit darzustellen nicht in der Lage sind. Ihr Gegenstand ist die Entwicklung der physikalischen Lehren selbst, der Nachweis, wie diese erhalten oder bestätigt wurden, dürfte aber eine wichtige Ergänzung für sie sein; diesen zu liefern ist der Zweck unserer Arbeit.

Musste diese deshalb die Fortschritte in den physikalischen Anschauungen stets im Auge behalten, nach Bedürfnis wohl auch auf sie selbst eingehen, so war ihr Schwerpunkt doch in die Darstellung der Apparate und Maschinen in Wort und Bild zu legen, welche die Erkenntnis jener Lehren vermittelten, und so war unser Hauptaugenmerk namentlich auch auf die Abbildung der Originalapparate der Forscher gerichtet, und wir sind der Verlagsbuchhandlung zu besonderem Danke verpflichtet, dass sie uns dabei den weitesten Spielraum gewährte. Soviel wie möglich haben wir die Originalabbildungen reproduziert oder Zeichnungen nach noch vorhandenen Originalapparaten aufgenommen, deren Beschreibungen aber, so oft es thunlich erschien, in Übersetzungen des Urtextes oder in diesem selbst gegeben. Wir haben dabei vieles in neuer Bearbeitung liefern, nicht wenige bisher unbekannte oder vergessene Thatsachen ans Licht ziehen können, wovon sich der sachkundige Leser leicht überzeugen wird.

Bei dem Ziele, das wir uns gesteckt hatten, waren biographische Angaben fernzuhalten. Nur die Lebenszeit der betreffenden Forscher haben wir in Klammern zugefügt, da oft nur durch sie die Zeitbestimmung einer Erfindung gegeben wird. Die Einteilung des Stoffes musste sich dagegen vielfach an einzelne Forscher anschließen, wenn diese die Träger der Fortschritte ihrer Zeit waren. Doeh bilden sich wiederum Gruppen, denen wir auf gleiche Ziele gerichtete Arbeiten und Erfindungen verdanken, wie solehe sich als gleichzeitige infolge der angeregten Fragen von selbst ergeben. Die Bestimmung der Grenzen, bis zu welehen wir unsere Untersuchungen fortführen zu sollen geglaubt haben, findet der Leser im Buche selbst angegeben.

Die Verfasser.

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
Einleitung	1

I. Geschichte der Experimentierkunst im Altertum.

Die Babylonier und Assyrier	4
Die Ägypter	6
Die Griechen und Römer	11
1. Die Griechen bis Aristoteles	11
2. Aristoteles	17
3. Archimedes	24
4. Die älteren Alexandriner	31
5. Die Römer und die jüngeren Alexandriner	53

II. Geschichte der Experimentierkunst im Mittelalter.

Die Byzantiner und Araber	60
Das christliche Abendland bis zum Auftreten der Humanisten	74
Das Zeitalter der Humanisten und Konquistadoren	82
Das sechzehnte Jahrhundert	84
1. Maurolykus und della Porta. Die Optik	84
2. Gilbert und die magnetischen und elektrischen Untersuchungen	90
3. Die Astronomie, die astronomischen und mathematischen Instrumente	95
4. Leonardo da Vinci, Stevin und die Mechanik	101

III. Geschichte der Experimentierkunst der neueren Zeit.

Galileo Galilei	113
1. Spezifisches Gewicht, Fallgesetze und Pendel, Fernrohr, Mikroskop und Thermometer	113
2. Mechanische Untersuchungen. Pendeluhr	119
Keppler und Cartesius	123
Guericke und Boyle.	129
1. Die Luftpumpe und die mit ihr anzustellenden Versuche	129
2. Centrifugalmaschine und elektrische Versuche	148
Die Schüler Galileis	153
1. Luftdruck und Vakuum	153
2. Elektrizität, Schall und Kapillarität im luftleeren Raume	162
3. Thermometer, Hygrometer und Zeitmesser.	166
4. Ausdehnung durch die Wärme, Zusammendrückbarkeit des Wassers	171
5. Schwere, Magnetismus, Geschwindigkeit des Schalles	175

	Seite
Huygens, Leibniz und Papin	177
1. Allgemeine Bemerkungen	177
2. Huygens' Erfindung der Pendeluhr	178
3. Huygens' Linsen und Fernröhre	184
4. Huygens' Pendelnivean, seine barometrischen, thermometrischen und optischen Arbeiten.	189
5. Die Verbesserung der Luftpumpe durch Huygens, Papin und einige ihrer Zeitgenossen	193
6. Papins Anwendung der Luftpumpe für technische Zwecke	205
7. Leibnizens Plan zur Wältigung der Grubenwasser. Die Feuerspritze	210
8. Papins Erfindung des Centrifugalventilators und des Taucherschiffes	215
9. Huygens' Pulvermaschine. Papins Erfindung der Niederdruckdampfmaschine	224
10. Papins und Leibnizens Ansichten vom Wasserdampf. Saverys Maschine. Die Hochdruckmaschine Papins.	230
11. Weitere Arbeiten Papins und Leibnizens. Das Aneroid	238
Amontons und Fahrenheit	240
1. Amontons' Verbesserung des Barometers und Thermometers	240
2. Fahrenheit und die Verbesserungen des Thermometers	247
3. Fahrenheit und das Aräometer	252
Die übrigen Forschungen um die Wende des 17. Jahrhunderts.	255
1. Hooke und das zusammengesetzte Mikroskop	255
2. Die Royal Society und die Wetter- und Meerestiefen-Beobachtungen.	261
3. Mariotte, Bernoulli und Sturm. Gewicht der Luft und magnetische Beobachtungen.	267
4. Leeuwenhoek und das einfache Mikroskop	272
Newton	274
1. Die Farbenlehre	274
2. Das Spiegelteleskop. Newtons sonstige Versuche	283
Réaumur und das Thermometer	289
Die Lehrbücher und Vorlesungsversuche	294
1. 's Gravesande und Jan van Musschenbroek	294
2. Desaguliers und Pieter van Musschenbroek	308
Mechanik und Wärmelehre um die Mitte des 18. Jahrhunderts.	312
Die zu Wetterbeobachtungen und ähnlichen Zwecken dienenden Instrumente um die Mitte des 18. Jahrhunderts.	316
1. Das Thermometer	316
2. Die Barometer.	321
3. Die Hygrometer und die übrigen meteorologischen Instrumente	324
Die optischen Apparate um die Mitte des 18. Jahrhunderts	327
Die Elektrizität im 18. Jahrhundert	330
1. Die Elektrisiermaschine	330
2. Verstärkungsflasche und Geschwindigkeit der Elektrizität	333
3. Die Elektrizität im luftleeren Raume. Elektrophor	336
4. Elektroskop und Elektrometer	337
5. Die Luftelektrizität	343
Der Magnetismus um die Mitte des 18. Jahrhunderts	346
Die meteorologischen Stationen am Ende des 18. Jahrhunderts.	349
Die strömende Elektrizität.	353
1. Galvani und die Entdeckung der strömenden Elektrizität	353
2. Volta und die Erklärung der Versuche Galvanis	58

	Seite
3. Die Voltasche Säule	361
4. Nicholson, Carlisle und Ritter. Die Wasserzersetzung und das Volta- meter	364
5. Gautherot und Ritter. Polarisation und Trockensäule	369
6. Oersted, Schweigger und Ampère. Das Galvanometer	373
7. Ampère und die Einwirkung von Strömen auf Ströme und Magneten .	378
8. Seebeck und Ohm. Die Thermoströme und das Ohmsche Gesetz . . .	387
9. Faraday und die Induktion	392
Die Anwendungen des elektrischen Stromes zur magnet-elek- trischen Maschine und zur Telegraphie	400
1. Die magnet-elektrische Maschine	400
2. Sümmering und der elektrochemische Telegraph	405
3. Gauß, Weber und Steinheil. Das Magnetometer als Telegraph	408
4. Schilling von Canstadt. Cooke und Wheatstone und der Nadel- telegraph	416
5. Morse. Zeiger- und Schreibtelegraph	421
Daniell und das erste konstante Element	426
Sachregister	428
Namenregister	434

FIGUREN-VERZEICHNIS.

Figur	aus
1. Ägyptische Goldschmiede bei der Arbeit . . .	A. de Rochas, Les origines de la science et ses premières applications. Paris 1884(?).
2. Ausschmelzen der Metalle aus den Erzen mittelst des Blasebalges.	
3 u. 4. Ägypt. Glasbläser	desgl.
5. Ägypt. Destillier-Apparat	Hooper, Histoire de la Chimie. Paris 1866.
6. Ägypt. Heber	A. de Rochas, Les origines de la science etc.
7. » Wage	desgl.
8. » Stora	desgl.
9 bis 13. Veranschaulichung des Parallelogramms der Kräfte, des Hebelgesetzes usw. durch Aristoteles.	Aristoteles, Mechanische Problema von F. J. P. Poselger. Hannover 1881.
14. Ableitung des Hebelgesetzes durch Archimedes.	A. Taeschner, Die allgem. Prinzipien der Statik. Breslau 1872.
15. Archimedes' Schraube ohne Ende	Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892.
16. Die archimedische Wasserschraube	Terquem, La science romaine à l'époque d'Auguste. Paris 1885.
17 bis 25. Verschiedene Formen des Hebers bei Heron.	A. de Rochas, La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité. Paris 1882.
26. Herons Spionspiegel	Th. H. Martin, Recherches sur la vie et les ouvrages d'Héron d'Alexandrie etc. Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des inscriptions et belles-lettres 1851.
27. Herons Cylinderspiegel	A. de Rochas, Les origines de la science etc.
28 u. 29. Der Becher der Vestalin	
30. Saugpumpe	
31. Schröpfkopf mit Pumpe	
32. Herons Dampfkuigel	
33. Herons Aeolipile	
34. Philons Apparat zur Veranschaulichung der Wirkungsweise des Hebers.	
35 bis 38. Verschiedene Formen von Philons Zauberheber.	Veterum Mathematicorum (Athenai, Bitonis, Apollodori, Heronis. Philonis et aliorum) opera. Ex manuscriptis codicibus Bibliothecae Regiae. Parisiis 1693 und A. de Rochas, La science des philosophes et l'art des thaumaturges.
39. Herons Zauberheber	
40 bis 42. Ausflussgefäße mit konstantem Niveau	
43. Gefäß für den langsamen Zufluss von Flüssigkeiten	
44. Herons sich selbst unterhaltende Lampe. . .	
45. Philons Thermoskop	
46. Das Brennen einer Kerze in einem abgeschlossenen Raum.	
47. Philons Rammbär	
48. Die Feuerspritze des Ktesibios.	

Figur	aus
49. Die in Castro novo bei Civita vecchia am Ende des 18. Jahrh. ausgegrabene, aus dem Anfang der christlichen Zeitrechnung stammende Feuerspritze im senkr. Durchschnitt.	Glasers Annalen für Gewerbe u. Bauwesen. Bd. XII. Heft 1. 1883.
50. Der Heronsball	desgl.
51 u. 52. Herons Wasserorgel.	Baumeister, Denkmäler des Klass. Altertums. München u. Leipzig 1885. Art.: »Flöte«.
53. Herons Windorgel	Veterum Mathematicorum (Athenai, Bitonis, Apollodori, Heronis, Philonis et aliorum) opera. Ex manuscriptis codicibus Bibliothecae Regiae. Parisiis 1693.
54. Herons Diopter	Vincent, Mémoires de l'Académie des inscriptions et belles-lettres en 1858.
55. Herons Chorobates	A. de Rochas, Les origines de la science etc.
56. Herons Hodometer	desgl.
57. Der Turm der Winde in Athen	Nach einer Photographie.
58. Vitruvius Hebezug	Terquem, La science romaine etc.
59. Römische Wagen	Overbeck, Pompeji. 4. Aufl. Leipzig 1884.
60. Apparat des Claudius Ptolemaios zur Ermittlung des Brechungsgesetzes.	Gerland, Geschichte der Physik.
61. Das Baryllium des Synesius	desgl.
62. Anatomie des Auges nach Al Hazen	Opticae Thesaurus Alhazeni etc. Basileae 1572.
63. Al Hazens Apparat zum Nachweis des Reflexionsgesetzes.	desgl.
64. Abbildung des Apparats, mittelst dessen Al Hazen die Lichtbrechung ermittelte.	Wied. Ann. 1884. Bd. 21 S. 541.
65. Abbildung desselben Apparates in der gewöhnlichen Darstellungsweise.	Gerland, Geschichte der Physik.
66. Abbildung desselben Apparates	Opticae Thesaurus Alhazeni etc.
67. Veranschaulichung des Ganges eines Lichtstrahles aus einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium.	Zeitschr. der deutsch. morgenländ. Gesellschaft. 1882. Bd. 36.
68 bis 70. Arabische Wagen nach Al Khâzinî	Journ. of the Americ. orient. Society. 1860. 6. Vol.
71. Al Birûnîs Pyknometer	desgl.
72. Veranschaulichung des Falles der Körper auf verschiedenen schiefen Ebenen von gleicher Höhe.	Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia. Firenze 1802/95. Vol. IV.
73. Gleichgewichtsbedingung auf schiefen Ebenen von gleicher Höhe.	desgl.
74. Gleichgewichtsbedingung am Hebel	desgl.
75. Uhr mit Horizontalpendel aus dem 14. Jahrhundert	Gerland, Bericht über den histor. Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftl. Apparate in London im Jahre 1876 in Hofmanns Bericht. Braunschweig 1878. Bd. I.
76. Versuch des Maurolykus.	Gerland, Geschichte der Physik.
77. Gang eines Lichtstrahles durch ein von zwei parallelen Ebenen begrenztes durchsichtiges Mittel.	Maurolycus, Theoremata de lumine et umbra. Lugdun. MDCXIII.
78. Anatomischer Bau des Auges nach Vesal	desgl.
79. Gang der Lichtstrahlen im Winkelspiegel nach Porta.	Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838—43.
80. Gilberts armierter Magnet	Gilbert, De magneti magnetisque corporibus etc. Londini 1600.
81. Gilberts Busssole	desgl.
82. Gilberts Inklinatorium	desgl.
83. Dasselbe Instrument	Gilbert, De magnete etc. Ausgabe von 1624.

Figur	aus
84. Gilbert »Terella« mit den durch sie gerichteten Magneten.	Gilbert, De magnete etc. Ausgabe von 1600.
85. Gilberts Elektroskop	desgl.
86. Tycho's Grosser Quadrant	O. Lodge, Pioneers of science. London 1893.
87. Tycho's Armillarsphäre	desgl.
88. Tycho's Transversalen bei geteiltem Bogen .	J. L. E. Dreyer, Tycho Brahe. Deutsch von M. Bruhns. Karlsruhe 1894.
89. Leonardo da Vincis »potentieller Hebel«.	Ravaisson-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci. Paris 1888/92.
90. Hebel	desgl.
91. Hebel	desgl.
92. Gleichgewicht auf zwei mit ihren gleichen Höhen zusammenstößenden schiefen Ebenen.	desgl.
93, 94 u. 95. Hydraulische Maschinen	Leonardo da Vinci, Saggio del Codice atlantico. Milano 1872.
96. Kommunizierende Röhren.	desgl.
97. Zeichnung einer Art hydraulischer Presse .	desgl.
98. Kreise, die Wellenbewegung des Wassers veranschaulichend.	Ravaisson-Mollien, Manuscrits etc.
99. L. da Vincis Hygrometer	H. Grothe, Leonardo da Vinci als Ingenieur und Philosoph. Berlin 1874.
100. Leonardos Erklärung der Camera obscura .	J. P. Richter, The literary works of Leonardo da Vinci. 2 Vol. London 1883.
101. Gleichgewicht auf der schiefen Ebene nach Stevin.	Stevin, Beghinselen der Weegkonst. Leyden 1586.
102. Stevins Nachweis des »hydrostatischen Paradoxons«.	Stevin, Les œuvres mathématiques. Leyde 1631.
103. Stevins Nachweis des »Auftriebs«	desgl.
104. Stevins Nachweis des Wasserdruckes . . .	desgl.
105. Gleichgewicht schwimmender Körper	desgl.
106. Galileis »Bilancetta«	Galilei, Opere complete. XIV. Opere fisio-matematiche. IV. Firenze 1856.
107. Castellis Wage	desgl.
108. Galileis Apparat zum Nachweis des Archimedischen Prinzips.	desgl.
109. Mikroskop aus der Zeit von Zacharias Janssen.	Gerland, Bericht über den hister. Teil der internationalen Anstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in Hofmanns Bericht. Braunschweig 1878.
110. Galileis Thermoskop	desgl.
111. Drebbels Thermoskop	Burckhardt, Die Erfindung des Thermometers u. seine Gestaltung im 17. Jahrhundert. Basel 1867.
112. Thermometer von Sanctorius.	desgl.
113. Ein Thermometer von demselben	desgl.
114. Im Anfang des siebzehnten Jahrhundert gebräuchliches Thermometer.	Lenrochon, La Récréation mathématique. Mussiponti 1624. Von Schwentor übersetzt u. unter dem Titel: Mathematische Erquickstunden, Nürnberg 1636, herausgegeben.
115. Abbildung eines Apparates, mit dem Galilei den Widerstand des Vakuums messen wollte.	Galilei, Opere, Bd. XIII, u. Ostwalds Klassiker Nr. 11.
116. Galileis Pendel mit Zählwerk	Originalfigur.
117. Galileis Pendeluhr	Galilei, Opere. Supplemento. Taf. II.
118. Abbildung des Apparats, mit dem Cartesius das Brechungsvermögen von Glassorten bestimmte.	Ronati Descartes, Specimina philosophiae. Ultima editio. Amstelodami 1692.
119. Cartesius' Maschine zum Schleifen hyperbolischer Linsen.	desgl.

Figur	aus
120. Der rechte Teil derselben in vergrößertem Maßstab.	Renati Descartes, Specimina philosophiae. Ultima editio. Amstelodami 1692.
121. Cartesius' Versuch zur Beobachtung der prismatischen Farben.	desgl.
122. Magnetische Kraftlinien nach Cartesius . . .	desgl.
123. Guericques erster Versuch zur Herstellung eines Vakuums.	Guericke, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio. Amstelodami 1672 und Ostwalds Klassiker Nr. 59.
124. Guericques zweiter Versuch	desgl.
125. Guericques Versuche mit den »Magdeburger Halbkugeln« auf dem Reichstag zu Regensburg 1654.	desgl.
126. Boyles Luftpumpe mit Nebenapparaten . . .	R. Boyle, Nova Experimenta physico-mechanica de Vi Aëris elastica et ejusdem Effectibus, facta maximam partem in Nova Machina Pneumatica. Ed. postrema. Roterodami 1669.
127. Guericques Luftpumpe vom Jahre 1663. . .	} Guericke, Experimenta nova etc. und Ostwalds Klassiker Nr. 59.
128. Guericques Luftpumpenversuch, der den »Wasserhammer« vorführt.	
129. Guericques Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln.	
130. Guericques Versuch, das Gewicht der Luft zu bestimmen.	
131. Guericques Versuch, die Kraft des Luftdruckes zu zeigen.	} Gerland, Bericht etc.
132. Guericques Versuche mit zwei mit einander in Verbindung stehenden Rezipienten.	
133. Guericques Wasserbarometer	
134. Guericques Thermoskop	
135. Guericques zweite Luftpumpe	Guericke, Experimenta nova etc. und Ostwalds Klassiker Nr. 59.
136. Guericques Apparat, der zum Schleudern von Geschossen dienen sollte.	Galilei, Opere t. IV.
137. Grassis Centrifugalmaschine	Guericko, Experimenta nova.
138. Guericques Centrifugalmaschine	desgl.
139. Guericques elektrisierte Schwefelkugel . . .	} Muschenbroek, Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento. Lugd. Bat. 1731.
140. Barometerversuch der Accademia del Cimento	
141. Versuch in der erweiterten Barometerkammer	
142. Versuch über den Barometerstand im geschlossenen Raume.	
143. Versuch über die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Dichtigkeit der Luft.	
144 bis 146. Versuche über das Verhalten des luft-erfüllten und luftleeren Raumes	
147 u. 148. Versuch zur Bestimmung des spez. Gewichts des Wasserdampfes	
149 u. 150. Barometer für Höhenmessungen . . .	} Muschenbroek, Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento. Lugd. Bat. 1731.
151 u. 152. Apparate für Höhenmessungen . . .	
153 bis 155. Versuch über das Auftreten elektrischer Erscheinungen in der Barometerkammer . . .	
156 bis 158. Versuche über das Verhalten des Schalles im luftleeren Raum	
159. Versuch über die Stoighöhe einer Flüssigkeit in kapillaren Röhren in der Barometerkammer.	

Figur	aus
160 bis 163. Thermometer der Florentiner Akademie	Mussehenbrook, Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento. Lugd. Bat. 1731.
164. Das Hygrometer des Großherzogs Ferdinand II. von Toskana	
165. Fadenpendel als Zeitmesser dienend	
166. Uhr der Florentiner Akademie	
167. Versuch über die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren	
168 bis 174. Versuche über die Ausdehnung der Körper durch die Wärme	
175 bis 177. Versuche der Akademiker über die Zusammendrückbarkeit des Wassers	
178. Huygens' Pendeluhr vom Jahre 1657	Chr. Hugenii, Horologium. Opera varia. Vol. I.
179 u. 180. Huygens' Pendeluhr vom Jahre 1675	Huygens, Oeuvres complètes. Bd. II.
181. Eine Florentiner Pendeluhr aus dem Jahre 1660	desgl.
182. Abbildung einer im physikalischen Kabinet zu Leiden befindlichen Pendeluhr von Huygens	Originalzeichnung.
183 u. 184. Huygens' Pendeluhr zur Bestimmung der Längen auf See	Hugenii, Opera varia. Vol. I.
185. Huygens' »Unruhe«	desgl.
186. Huygens' Maschine zum Schleifen von Glaslinsen	Hugenii, Opuscula posthuma. Vol. I.
187. Huygens' Maschine zum Polieren von Linsen	desgl.
188. Huygens' Fernrohr ohne Röhre	Hugenii, Opera varia. Vol. I.
189 u. 190. Huygens' Versuche mit dem Barometer	desgl.
191. Huygens' Barometerprobe	Huygens, Oeuvres complètes. Vol. III.
192. Huygens' Luftpumpe	Papin, Nouvelles Expériences du vuide avec la description des Machines qui servent à les faire. N'en abgedruckt in de la Sanssaye et Péan, La vie et les ouvrages de Denis Papin. Paris et Blois 1669.
193. Papins Luftpumpe	desgl.
194. Darstellung der verschiedenen Stellungen des doppelt durchbohrten Hahnes der Luftpumpe	Originalzeichnung.
195. Abbildung der im physikalischen Kabinet der Universität zu Leiden befindlichen Luftpumpe von Samuel van Musschenbroek	desgl.
196. Darstellung des Hahnes dieser Luftpumpe	desgl.
197. Senguerds Luftpumpe	Senguerdii Philosophia naturalis. Lugd. Bat. 1685.
198. Papins Ventilluftpumpe	Naeh Boylo, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genovae 1682. Icon. I.
199. Papins Luftpumpe vom Jahre 1687	Papin, Augmenta quaedam et experimenta nova circa antliam pneumaticam, facta partim in Anglia, partim in Italia communicata a Dionys. Papino. Londini 1687. — Acta Eruditorum 1687.
200. Papins erste Windbüchse in Verbindung mit der Luftpumpe	Philosophical Transactions 1686. XV.
201. Papins zweite Windbüchse	Naeh Boylo, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genovae 1682. Icon. II.
202. Wassergebläse	Philosophical Transactions. 1665. Vol. I.
203. Papins Presse	Acta Eruditorum. 1688.
204. Papins Maschine zum Heben der Grubenwässer	desgl.

Figur	aus
205. Wiedergabe einer von Leibniz entworfenen Zeichnung einer Maschine zum Heben der Grubenwässer.	Berg- u. Hüttenmännische Zeitung. 1898.
206. Wiedergabe einer Zeichnung von Leibniz, einen Kolben zu einer Feuerspritze darstellend.	Leibniz, Hinterlassene Papiere. Vol. E.
207. Ansicht dieses Kolbens im Durchschnitt . . .	desgl.
208. Die Pappenheimsche Kapselkunst	Schwenter, Mathematische Erquickstunden. Nürnberg 1636.
209. Der sog. Wasserriegel des Prinzen Ruprecht von der Pfalz.	Leupold, Theatrum Machinarum Hydraulicarum. I.
210. Reisels Kapselkunst.	Acta Eruditorum 1690.
211 u. 212. Papins Centrifugalpumpe	desgl. 1689.
213 u. 214. Dieselbe in verbesserter Form	Philosophical Transactions 1705.
215. Grubenventilator aus dem 16. Jahrhundert . .	Agricola, De re metallica. Basileae 1556.
216. Papins Taucherschiff	Gerland, Leibnizens u. Huygens' Briefwechsel mit Papin etc. Berlin 1881.
217. Papins Digestor.	Acta Eruditorum 1682.
218. Huygens' Pulvermaschine	Hugenii, Opera varia. Vol. I.
219. Papins verbesserte Form derselben	Acta Eruditorum. 1688.
220. Papins erste Dampfmaschine.	desgl. 1690.
221 u. 222. Saverys Dampfmaschine.	Philosophical Transactions 1699. Leupold, Theatrum Machinarum.
223. Papins Hochdruckmaschine	Papin, Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam. Cassellis 1707.
224. Amontons' Seebaremeter	Amontons, Remarques et expériences physiques. Paris 1665.
225. Amontons' abgekürztes Barometer	Acta Eruditorum. 1688.
226. Amontons' Apparat, zum Nachweis dienend, dass bei Sturm das Barometer niedrig steht.	Amontons, Remarques etc.
227. Stephen Grays Kathetometer	Philosophical Transactions. 1698.
228. Amontons' Hygrometer	Mémoires de l'Académie française. 1688.
229. Amontons' Luftthermometer	desgl.
230. Fahrenheits Hypsometer	Philosophical Transactions. T. XXXIII.
231. Danziger Bierprobe	Leupold, Theatrum Staticum universale. Pars II.
232. Salzprobe	desgl.
233. Robervals Gewichtsariometer	Sturmius, Collegium experimentale sivo curiosum. II.
234. Fahrenheits Gewichtsariometer	Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24.
235 u. 236. Boyles Volumenariometer	desgl. 1675.
237. Hombergs Pyknometer	Mémoires de l'Académie Royale. 1699.
238. Fahrenheits Pyknometer	Philosophical Transactions. T. XXXIII.
239. Hookes Fallmaschine	Huygens, Oeuvres complètes. V.
240. Huygens' Fallmaschine	desgl.
241. Hookes Versuch zur Prüfung des Boyleschen Gesetzes.	Hooke, Micrographia. London MDCLXVIII.
242 u. 243. Hookes zusammengesetztes Mikroskop	desgl.
244. Hookes Schleifmaschine für Glaslinsen . . .	desgl.
245. Christopher Wrens Idee zur Herstellung hyperbolischer Linsen.	Philosophical Transactions. 1668.
246. Hookes Radbarometer	Hooke, Micrographia etc.
247. Hookes Hygrometer.	desgl.
248. Cunnings Hygrometer.	Philosophical Transactions. No. 127.
249. Anemometer der Royal Society	desgl. 1667.
250. Regenmesser derselben	desgl. 1695/96.

Figur	a u s
251. Bathometer derselben	Philosophical Transactions. 1667.
252. Hales Bathometer	desgl. 1727/28.
253. Hawksbees Versuch, das Sinken des Barometers bei Sturm zu zeigen.	desgl. 1704.
254 bis 256. Mariottes Niveau	Mariotte, Oeuvres. Leyde 1717. Vol. II.
257. Mariottes Zeichnung des Augenhintergrundes.	desgl.
258. Bernoullis Versuch zur Bestimmung des Gewichts der Luft.	Acta Eruditorum. 1685.
259. Sturms Versuch zur Bestimmung der magnetischen Deklination.	desgl.
260. Zumbach von Koesfelds Deklinationsnadel	Cöster u. Gerland, Beschreibung der Sammlung astron., geodät. u. physikal. Apparate im Königl. Museum zu Kassel. Kassel 1878.
261. Campanis Mikroskop	Acta Eruditorum 1686.
262. Lecuwenhoecks Mikroskop	Gerland, Bericht etc.
263. Wilsons Mikroskop	Philosoph. Transactions. 1700.
264. Stephen Grays Mikroskop	desgl. 1676.
265. Jan van Musschenbroeks Mikroskop . .	Cöster u. Gerland Beschreibung usw.
266. Mikroskop	desgl.
267 bis 277. Newtons optische Versuche . . .	Newton, Optics. 2. Ed. London 1718 und Ostwalds Klassiker. Nr. 96.
278. Wasserlinse.	desgl.
279. Newtons Spiegelteleskop, Durchschnitt. .	desgl.
280. Newtons Spiegelteleskop, Ansicht	Philosophical Transactions. 1672.
281. Cassegrains Spiegelteleskop	desgl.
282. Réaumurs Thermometer.	Ostwalds Klassiker Nr. 57.
283 u. 284. 's Gravesandes Versuch zur Erläuterung der Kapillarität	} 's Gravesande, Physices Elementa mathematica, experimentis confirmata. 3. Ed. T. I.
285. 's Gravesandes Versuch mit dem den Berg hinaufrollenden Kegel.	
286. 's Gravesandes Versuch zum Beweise des Gleichgewichts, wenn die Summe der statischen Momente Null ist.	
287. 's Gravesandes Versuch zum Nachweis der Gleichgewichtsbedingung beim Keil	
288 u. 289. 's Gravesandes Versuch für den Nachweis des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte	
290. 's Gravesandes Versuch zum Nachweis des Polygons der Kräfte	
291. 's Gravesandes Apparat zur Demonstration der parabolischen Bewegung	
292. 's Gravesandes Centrifugalmaschine. . . .	
293 bis 295. 's Gravesandes Apparate zur Demonstration des »hydrostatischen Paradoxons«	
296. 's Gravesandes Versuch über den Auftrieb und Bodendruck	
297. 's Gravesandes Nachweis der Richtigkeit des Archimedischen Prinzips	} desgl. T. II.
298. 's Gravesandes Nachweis des Antriebes .	
299. 's Gravesandes Luftpumpe	
300. 's Gravesandes Elektrisiermaschine	
301. 's Gravesandes Versuch zum Nachweis der Wärmeleitungsfähigkeit.	desgl.

Figur	aus
302. 's Gravesandes Heliostat	's Gravesando, Phys. Elementa. 3. Ed. T. II.
303. 's Gravesandes Versuch zum Nachweis der Beugung des Lichtes.	desgl.
304. 's Gravesandes Versuch über die Wirkung der Sammellinsen.	desgl.
305. 's Gravesandes Darstellung des Regenbogens	desgl.
306 u. 307. Rows Taucherglocke.	Desaguliers, A cours of experimental Philosophy. Holländ. Übersetzung. Bd. II.
308. Halleys Taucherglocke	desgl.
309. Taucheranzug	desgl.
310. Hawksbees Luftpumpe	Hawksbee, Experimenta physico-mechanica. Londini 1709.
311. Hawksbees Versuch über das Leuchten des im luftleeren Raum fallenden Quecksilbers .	desgl.
312. P. van Musschenbroeks Pyrometer . . .	P. van Musschenbroek, Introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Bat. 1762. T. II.
313. Kraffts Registrier-Thermometer	Nova Acta Erud. 1755.
314 bis 316. Maximum- und Minimum-Thermometer von Cavendish.	Philosoph. Trans. 1757.
317. Cavendishs Tiefseethermometer	desgl.
318. Delues Hygrometer	desgl. 1774.
319. Boses Elektrisiermaschine	Desaguliers, A cours of Experimental Philosophy. Holl. Uebers. Vol. II.
320. Lanes elektrischer Apparat	Philosoph. Transactions. 1767. Vol. 57.
321. Watsons Versuch zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Elektrizität	Philosoph. Trans. 1748. Vol. 45.
322. Voltas Elektrophor	Volta, Collezione dell' opere. T. I. P. I. Tav. 1. Fig. 1.
323 u. 324. Nicholsons Duplikator	Philos. Trans. 1788. Vol. 78.
325. Coulombs Drehwage	Mémoires de l'Académie Royale de Paris 1784.
326. Richmanns »Gnomon Electricitatis«	Nova Acta Erudit. 1755.
327 u. 328. Winklers Apparat zur Beobachtung der Luftelektrizität	desgl.
329 bis 330. Coulombs Magnetometer.	Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1785.
331. Der Regenmesser der Mannheimer meteorol. Gesellschaft.	Traumüller, Die Mannheim. meteorol. Gesellschaft. Leipzig 1885.
332. Der Verdunstungsmesser derselben Gesellschaft	desgl.
333. Der spätere Regenmesser derselben Gesellschaft	desgl.
334. Branders Deklinatorium	desgl.
335 u. 336. Das Elektrometer der Mannheimer meteorolog. Gesellschaft.	desgl.
337. Galvanis Versuche mit enthauppteten Fröschen	Galvani, De Bononiensi Scientiarum Instituto atque Academia Commentarii. T. VII und Ostwalds Klassiker No. 52.
338. Galvanis Versuche über die Leitung der Elektrizität.	desgl.
339 bis 341. Voltas Säulen.	Volta, Collezione etc. T. II. P. II. Tav. II.
342. Voltas Tassensäule	desgl.
343. Cruikshanks Trogbatterie	Gerland, Bericht etc.
344 bis 347. Ritters Wasserzersetzungssapparate	Voigts Magazin f. d. neuesten Zustand der Naturkunde. II. 1800.
348. Landrianis Wasserzersetzungssapparat . . .	Volta, Collezione etc. T. II. P. II. Tav. II.
349. Simons Voltameter	Gilberts Annalen. 1802. Bd. 10.
350. Dasselbe in verbesserter Form	desgl. 1804. Bd. 16.
351. Behrens' Elektroskop	desgl. 1806. Bd. 23.
352. Zambonis »Perpetuum mobile«	desgl. 1815. Bd. 49.

Figur	aus
353 u. 354. Schweiggers Multiplikator	Schweiggers Journ. f. Chemie u. Physik. 1821.
355. Ampères astatische Nadel	Ampère und Babinet, Darstellung d. neuen Entdeckungen über Elektrizität. Aus d. Französischen. Leipzig 1822.
356 bis 360. Ampères Versuche über die Einwirkung von Strömen auf einander.	Collection de mémoires relatifs à la Physique. T. II. Electrodynamique I.
361 bis 364. Ampères Versuche über die Einwirkung der Erdströme auf Stromleiter und die Magnetnadel.	desgl.
365. Barlows Rad	Philosoph. Magazine 1822. T. 59.
366 u. 367. G. de la Rives Schwimmender Strom	Collection de mémoires relatifs à la Physique. T. II. Electrodynamique I.
368. Cummings Galvanoskop.	Journal f. Chemie u. Physik. 1824. Bd. 40.
369 u. 370. Nobilis Galvanometer.	Bibliothèque universelle de Genève. 1825.
371 bis 375. Seebecks thermo-elektrische Versuche	Ostwalds Klassiker etc. No. 70.
376. Nobilis Thermosäule	Gerland, Bericht etc.
377 u. 378. Ohms »Drehwage« nebst dem Erhitzungsgefäß für die Thermoelemente	Schweiggers Journal f. Chemie u. Physik. 1826. Bd. 46.
379. Faradays Versuch zum Nachweis der magneto-elektrischen Induktion mittelst eines natürlichen Magneten	Gerland, Bericht etc.
380 bis 382. Derselbe Versuch mit künstlichen Magneten.	Philosoph. Transactions. 1832 und Ostwalds Klassiker No. 81.
383. Magneto-elektrischer Apparat von Nobili und Antinori.	Gerland, Bericht etc.
384 u. 385. Faradays Versuche über Rotations-Magnetismus.	Philosoph. Transactions. 1832 und Ostwalds Klassiker No. 81.
386 bis 393. Verschiedene Formen von Faradays Knallgasvoltameter.	Philosoph. Transactions. 1834 und Ostwalds Klassiker No. 87.
394. Pixiis magneto-elektrische Maschine	Albrecht, Geschichte d. Elektrizität. 1885.
395. Ritschies Elektromotor	Philosoph. Transactions. 1833. II.
396. Clarkes magneto-elektrische Maschine . . .	Pinto, Trattato elementare di Fisica. Napoli. 1892.
397 u. 398. Dal Negros Elektromotoren	Albrecht, Geschichte der Elektrizität etc. 1885.
399. Jacobis Elektromotor	Doves Repertorium 1837. Bd. 1.
400. Sömmerings erster Versuch zur Konstruktion eines elektrischen Telegraphen	Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a/M. 1857/58.
401. Sömmerings Telegraph in seiner Vollendung	desgl.
402 u. 403. Telegraph von Gauß und Weber . .	Zetzsche, Geschichte der Telegraphie. Berlin 1877.
404 bis 411. Steinheils Schreibtelegraph	desgl.
412 bis 415. Schillings Nadeltelegraph	Gerland, Bericht etc.
416 u. 417. Cookes Nadeltelegraph im Aufrisse, Durchschnitte und Grundrisse.	Zetzsch, Geschichte der Telegraphie.
418. Wheatstones Relais	desgl.
419 u. 420. Wheatstones Zeigertelegraph. . . .	desgl.
421. Morscs erster Schreibtelegraph.	desgl.
422. Schriftzeichen dieses Telegraphen	desgl.
423. Verbesserte Form des Morseschen Telegraphen vom Jahre 1843.	desgl.
424 u. 425. Die ältesten Formen des Daniellschen Elementes.	Poggendorffs Annalen. 1837. Bd. 42.

EINLEITUNG.

Nicht ein bequemes Leben ist es, das dem Menschen auf Erden beschieden wurde. Schon von allem Anbeginn an hat er nicht nur der widerstrebenden ihn umgebenden Natur, sondern auch je länger je mehr den mitbewerbenden Nebenmenschen gegenüber für sein Dasein kämpfen müssen. Auch seine eigene Natur setzte unter Umständen, wie Erkrankungen, seinem Streben Schranken. Um den Kampf mit diesen Gegnern siegreich bestehen zu können, bedurfte er der Werkzeuge, bedurfte er der Waffen. Dass er solche sich anzueignen, sie zweckmäßig zu benutzen, ja sie sogar herzustellen lernte, war ein Vorzug, der ihn über das Tier erhob. Nur mit diesen Hilfsmitteln war er im Stande sich die Natur dienstbar zu machen, konnte es seinem Stamme, seinem Volke gelingen, über Mitstrebende sich zu erheben. So ist denn auch jetzt noch die zweckmäßigere Waffe die beste Gewähr des glücklichen Ausgangs eines Krieges. Aber sie ist es nicht allein; genaue Kenntnis der Eigenart des Feindes, seiner Hilfsmittel, seiner Stellung und seiner Bewegungen sind ebenso bedeutsam für den endgültigen Sieg, als dessen Preis die freie Entwicklung des Siegers winkt.

Feindselig ist zunächst die Art, wie die Natur dem Menschen gegenüber tritt, sie musste er also kennen zu lernen suchen; doch bleibt sie es nicht, sobald ihn vorsehreitende Erkenntnis eines Besseren belehrt. Solche aber ist wiederum nichts anderes wie fortschreitende Kultur, und so ist es keineswegs den Thatsachen entsprechend, wenn man die Kultur als Feindin der Natur betrachtet. Naturerkenntnis erlangt man nur mit Hilfe von Werkzeugen, mit Hilfe von Instrumenten der verschiedensten Art; von deren Vervollkommnung hängt demnach die Entwicklung der Kultur ab. Gewiss war ein großer Fortschritt gemacht, als der Mensch das Pferd für seinen Dienst gewonnen, ein Kulturfortschritt war es aber erst, als er den Wagen erfinden hatte, mittelst dessen es seine Habe fortzog oder den Pflug, der seine Kraft für die Bearbeitung des Bodens nutzbar machte. Welch einen gewaltigen Fortschritt bezeichnet wiederum die Erfindung, die die Dampfkraft zur erfolgreichen Überwindung von Raum und Zeit befähigte! Keine andere hat unsere Lebensweise auf so tief eingreifende Art wie diese verändert. Es würde nun ein großer Irrtum sein, der allerdings noch hier und da festgehalten wird, wollte man annehmen, dass sie dem Menschen

als reife Frucht in den Schoß gefallen wäre; sie war der Lohn mühevoller und eindringender Arbeit, und es zeugt von geringer Kenntnis der in Betracht kommenden Verhältnisse, wenn man glaubt, der Zufall habe hier sein launenhaftes Spiel getrieben. Nur durch folgerichtiges Reihens von Schluss an Schluss, und durch wachsendes Erschließen des Zusammenhanges der natürlichen Dinge durch sachgemäß angestellte Beobachtungen und Versuche konnten solche Fortschritte gemacht werden, und so sind stets Beobachtungen und Versuche die Grundlage gewesen von jeder weiterschreitenden Erkenntnis der Natur. Die dafür nötigen Instrumente, also die Werkzeuge und Waffen, und die Betrachtung ihrer fortschreitenden Vervollkommnung ist somit einer der wichtigsten Abschnitte der Kulturgeschichte.

Es könnte auffallen, dass eine solche bisher so wenig Berücksichtigung gefunden hat. An geschichtlichen Darstellungen der Fortschritte in unserer Kenntnis von der Natur, wie der Astronomie, der Physik, der Chemie, fehlt es nicht; es wird wohl dabei auch der Instrumente und ihrer Vervollkommnung gedacht, aber den Mittelpunkt der Betrachtung abzugeben — davon sind sie weit entfernt. Dies dürfte darin seine Erklärung finden, dass die Beobachtungen und Versuche ja nur zu einem bestimmten Zweck angestellt werden und uns, was gefunden wird, in viel höherem Maße interessiert, als wie es gefunden wurde. Wer freut sich nicht über den herrlichen Stoff, den er sich zum Prunkgewande ausgesucht hat, aber wer weiß, ja wer fragt auch nur darnach, wie er verfertigt worden ist! Und doch ist jeder überzeugt, dass das Gewebe ohne den Webstuhl nie erhalten worden wäre.

Bleibt demnach eine empfindliche Lücke in unserem Wissen, wenn wir die Mittel nicht kennen, mit denen von uns Bewundertes erreicht ist, so ist auch die Erkenntnis der Ergebnisse der Naturwissenschaften eine ganz unvollständige, wenn die Mittel zu ihrer Erlangung im Dunkeln bleiben. Die volle Kenntnis der Geschichte der Physik fordert also eine Geschichte der physikalischen Instrumente und ihres Gebrauches, und darin sehen wir die Berechtigung für den Versuch, der hier gemacht werden soll, eine solche zu geben.

Die Forscher des Altertums und des Mittelalters stellten sich ihre Apparate gewöhnlich selbst her; doch berichten Heron und Philon, dass es schon zu ihrer Zeit Mechaniker, d. h. Verfertiger physikalischer Apparate gegeben habe, und dass manche von ihnen eine große Geschicklichkeit besessen hätten. Die Herstellung astronomischer Instrumente wurde den Metallarbeitern, hauptsächlich den Goldschmieden, deren Kunst schon im Altertum in hohem Ansehen stand, übertragen; die eigentliche Präzisionsarbeit dagegen, wie die Teilung der Kreise, die Zusammenstellung der Instrumente u. s. w. mögen damals wohl die Gelehrten selbst und ihre Gehilfen besorgt haben. Das mag sich während vieler Jahrhunderte nicht geändert haben, und so dürften die Anfänge der eigentlichen mechanischen Kunst, als eines selbständigen Gewerbes erst in die Zeit der Erfindung der

Räderuhren fallen, und die ersten bedeutenden Mechaniker aus dem Kreise der Uhrmacher hervorgegangen sein.

Indem wir uns nun zu der Geschichte der Experimentierkunst wenden, tritt uns bei dem Bestreben, unsern Stoff einzuteilen, sogleich die Schwierigkeit entgegen, dass wir gezwungen sind, Abschnitte zu machen, wo in Wirklichkeit solche nicht bestehen. Denn unaufhaltsam schreitet die Geschichte vorwärts, in ununterbrochener Reihenfolge reiht sich Ereignis an Ereignis, und nirgends bilden sich Ruhepunkte, die eine bequeme Einteilung in einzelne Abschnitte ermöglichen. Im Verhältnis leicht gliedert sich der Stoff, den die politische Geschichte zu überliefern hat. Das Auftreten eines neuen Reiches, an die Person eines Herrschers oder eines Staatsmannes geknüpft, ein Friedensschluss, die Thronbesteigung eines Regenten und ähnliche Ereignisse bieten Marksteine, die eine solche Gliederung von selbst fordern. Ganz anders auf dem Gebiete der Geschichte der Wissenschaft und der Kulturgeschichte! Nicht nur, dass es unmöglich ist, sie nach dem Anteil, den die einzelnen Völker an ihrem Fortschritte nehmen, vorzutragen, alle Entdeckungen und Erfindungen, die man als neue Epochen einleitend zu betrachten geneigt sein möchte, treten weder unvermittelt auf, noch kommen sie sogleich zu allgemeiner Geltung. Oftmals ein letztes Ergebnis einer Menge von Arbeiten, deren Urhebern das größere Verdienst zuzusprechen ist, wird die neue Entdeckung gewöhnlich ihrem vollen Werte nach gar nicht gewürdigt, und lange dauert es, bis sie zu allgemeiner Anerkennung durchdringt. Wie wenig ist der Erfinder sich der Tragweite seiner Arbeit bewusst, und ist er es, so gelingt es ihm, wenn überhaupt, dann nur mit vieler Mühe, die Zeitgenossen davon zu überzeugen.

Solche Schwierigkeiten treten freilich in der alten und mittleren Geschichte weniger hervor, da in ihr einzelne Völker die Träger der Fortschritte während längerer Zeiträume sind, anfangs die Babylonier und Ägypter, dann die Griechen und mehr rezeptiv die Römer, endlich die das Wissen des Altertums aufbewahrenden und immer wieder von neuem erklärenden Araber, obwohl auch sie einige Fortschritte selbständig machen. In noch höherem Maße ist das scholastische Mittelalter auf die Leistungen früherer Zeiten angewiesen, bis Galilei die Verwertung der Beobachtung und des Versuchs für allgemeine Folgerungen erkennend die neue Zeit einleitet, in der geänderte Verhältnisse zur Geltung gelangen.

Sind es von dieser Periode ab alle Kulturvölker, die je nach der Höhe der von ihnen erlangten Bildung an der fortschreitenden Arbeit Teil nehmen, so treten aus ihrer Mitte wiederum einzelne große Männer entgegen, die ihrer Zeit den Stempel ihres Geistes aufdrücken und die Richtung der Arbeiten bestimmen. So sind es nach Galilei und Kepler Huygens, Newton und Leibniz, die das Licht unermesslichen Fortschritts bringen. Der Wucht ihres Geistes kann sich das ihnen folgende Jahrhundert nicht entziehen, bis unser Jahrhundert sich zu neuer Selbständigkeit aufrafft und mit seinen Entdeckungen ganz neue Lebensverhältnisse zur Geltung bringt.

Die in ihm verwendeten Apparate ändern sich aber in zu geringem Maße, als dass es thunlich erschiene, sie in größerer Zahl in unsere Darstellung hereinzuziehen. Sind sie doch zum großen Teile noch in die jetzt gebräuchlichen Lehrbücher aufgenommen. Aber hier schreiten einzelne Lehren, namentlich die von der strömenden Elektrizität, rascher fort als andere und holen in kurzer Zeit nach, was andere in vorhergehenden Jahrhunderten vollbrachten. Ihre frühesten Apparate und die Art, mit ihnen zu experimentieren, veralteten somit rasch, und sie werden so Gegenstand unserer geschichtlichen Darstellung. So sind die einzelnen Lehren bis zu verschiedenen Zeiten zu verfolgen und da zu verlassen, wo die Lehrbücher unserer Zeit einsetzen.

I.

Geschichte der Experimentierkunst im Altertum.

Die Babylonier und Assyrier.

Jahrtausende vor der Zeit, bis zu welcher die ersten geschichtlichen Nachrichten aus europäischen Ländern reichen, bestanden in der damals wohl bewässerten und fruchtbaren Tiefebene von Mesopotamien bereits Reiche von hochentwickelter Kultur. Als deren älteste Träger treten uns die Babylonier oder Chaldäer entgegen, von ihnen überkamen sie die Assyrier. Die stark bevölkerten und prachtvollen Hauptstädte beider uralter Völker, Babylon und Niniveh, liegen freilich in Trümmern, aber aus diesen Trümmern hat man eine reiche Ausbeute von Gegenständen hervorgeholt, welche zeigen, auf wie hoher Stufe Industrie und Gewerbe ihrer Bewohner standen und man hat nachweisen können, dass sie bis nach Indien und in späterer Zeit nach Westasien und Griechenland mit deren Erzeugnissen schwunghaften Handel trieben; dass ein enger Verkehr auch mit Ägypten bestand, erzählen uns die ägyptischen Urkunden. Namentlich sind es vortreffliche Thonarbeiten, die uns von ihnen erhalten blieben, man weiß ja, dass Chaldäer und Assyrier ihre Urkunden in Ziegelsteine eingruben. Aber auch emailartige Glasflüsse verstanden sie herzustellen und in den Grabstätten der biblischen Ur (gegenwärtig Mugheir) hat man Werkzeuge und Lampen, Goldschmuck und Kupfergeräte, Bastmatten, Leinengewebe und Stickereien gefunden, die noch jetzt unser Staunen erregen. Ja sogar Eisen konnten sie verarbeiten, wie nicht nur aus dem Inhalte von Keilinschriften zu entnehmen ist, sondern auch die Funde eiserner Panzer und Helme beweisen.

Ebenso waren sie tüchtige Baumeister, deren Kühnheit uns unter anderem der Plan des Birs Nimrud (Turm des Nimrud) bewundern lässt. Sie ver-

wendeten bereits Bogengewölbe, wie auch die Ägypter, die sie von ihnen kennen gelernt haben mögen. Sie und nicht die Etrusker, wie man lange annehmen zu müssen glaubte, sind also deren Erfinder. Derartige Bauten aber setzen eine Reihe mathematischer Kenntnisse und namentlich den Besitz eines brauchbaren Maßsystemes voraus. Ein solches, wohlausgebildetes hatten sie in der That. Seine Grundlage bildete nach Bockh¹⁾ die räumliche Ausdehnung eines Würfels Regenwasser, dessen Gewicht als Gewichtseinheit, dessen Seite als Längeneinheit (Elle) angenommen war, während Lehmanns²⁾ Annahme, die Länge der babylonischen Elle sei von der Länge des Seeundenpendels hergeleitet, wenig wahrscheinlich ist. Gewährte dieses Maßsystem somit seinen Besitzern den Vorteil des modernen metrischen, dass Längen- und Gewichtsmaße auseinander herzuleiten waren, so wurde es, was dieses für die neue Zeit bis jetzt vergeblich erstrebt, durch die Gunst der Umstände auch das Weltmaß des Altertums. Mit der Kultur nahmen die alten Völker auch die Maße der Chaldäer an und keines der etwa sonst vorhandenen Maße hat sich jenen gegenüber behaupten können.

Ihre mathematischen Kenntnisse ermöglichten den Chaldäern die folgerichtige und vollständige Durchführung dieses Maßsystemes, sie setzten sie überdies in den Stand, ihre astronomischen Beobachtungen zu verarbeiten. Der Astronomie aber wandten sie eifrige Pflege zu. Mit ihrer Ausübung waren die Priester betraut, welche über die nötige Muse verfügend, ihre Beobachtungen durch viele Generationen ausdehnen und so eine Anzahl Beziehungen erschließen konnten, die namentlich für die Kalenderberechnungen aller folgenden Zeiten grundlegend geworden sind. Ihnen verdankt man auch die siebentägige Woche. Für die Folgezeit gingen ihre Beobachtungen keineswegs verloren, vielmehr haben sie die griechischen Astronomen mit Vorteil benützen können, und wenn es auch nicht erwiesen ist, dass mit ihrer Hilfe der Milesier Thales eine Sonnenfinsternis berechnet hat, so geht doch aus dem Zeugnisse des Hipparch hervor³⁾, dass die Griechen mit der chaldäischen Astronomie bekannt geworden waren. Diese Bekanntschaft hat unter anderen der Chaldäer Berosus vermittelt, welcher sich zur Zeit Alexanders des Großen in Kos niederließ, Athen besuchte und mit den griechischen Sternkundigen vielfach verkehrte.

Auf ihren Sternwarten beobachteten die chaldäischen Priester nicht nur den Lauf von Planeten und Kometen, sie legten auch Sternörter fest. Zu diesen Zwecken benutzten sie die bis in späte Zeiten noch im Gebrauche befindlichen Wassernhren (Klepsydrn), eben jene mit Wasser ge-

1) Bockh, Metrologische Untersuchungen über Gewichte, Münzfüße und Maße der Alten in ihrem Zusammenhange. — Karsten, Allgemeine Encyclopädie der Physik. I. 421.

2) S. C. F. Lehmann, Über das babylonische metrische System und dessen Verbreitung (in den Verhandlungen der physik. Ges. zu Berlin. 8. Jahrg. 1889. Nr. 15. S. 81).

3) Fragm. hist. G. Muell. II. S. 495. 509 ff.

füllten und einem Loch von bestimmten Durchmesser versehenen würfelförmigen Gefäße, deren Seite ihnen die Elle lieferte. Die Sonnenhöhen und die wahre Mittagszeit aber bestimmten sie mit Hilfe von Gnomonen oder Sonnenzeigern, horizontalen Kreisteilungen, über deren Mitte ein Stift senkrecht aufgestellt war, dessen sich mit den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten ändernde Schattenlängen die nötigen Werte lieferten.

Dass sie Fernröhre mit Linsen gehabt hätten, daran ist nicht zu denken. Man hat es mit Unrecht wohl aus dem allerdings höchst überraschendem Funde einer planconvexen Linse aus Bergkrystall geschlossen, welche Layard¹⁾ in den Ruinen von Niniveh in der Umgebung von bronzenen und sonstigen kostbaren Gegenständen vom Alter der assyrischen Hauptstadt aufdeckte. Sie befindet sich im britischen Museum, ist 0,2 Zoll engl. dick und besitzt eine Brennweite von 4,2 Zoll. Regelmäßig geschliffen ist sie aber nicht, denn ihr größter Durchmesser beträgt 1,6, der dazu senkrechte 1,4 Zoll. Man wird mit der Vermutung nicht fehlgehen, dass das merkwürdige Stück als Brennglas verwendet wurde, wie solche die Griechen nachweislich schon zu Sokrates Zeiten benutzten. Ganz unbewandert in der Optik können also die Assyrer und dann gewiss auch die Chaldäer nicht gewesen sein.

Die Ägypter.

Neben den Babyloniern und Assyriern waren die Ägypter das wichtigste Kulturvolk der ältesten Zeiten. Man hat auf Grund der vielen wohl erhaltenen Urkunden, deren Inhalt man früher, wie den der babylonischen kennen lernte, sogar die ägyptische Kultur für die ursprüngliche gehalten, von der die babylonische herzuleiten sei. Jetzt freilich weiß man, dass sich die Sache umgekehrt verhält. Haben nun also auch die Ägypter von den Babyloniern, wie es bei dem regen Verkehr zwischen beiden Völkern nicht ausbleiben konnte, vieles übernommen, so haben sie das Gelernte doch völlig selbständig weiter gebildet, haben nicht wenig neues zugefügt.

Davon, dass ihre Maße aus Babylon stammten, will Lepsius²⁾ freilich nichts wissen. Er nimmt vielmehr an, dass beide im Gebrauch befindliche Ellen, deren Längen sich wie 6:7 verhielten, die ursprünglich in Ober- und Unterägypten ausgebildeten Grundmaße seien. Wäre das richtig, so müssten die Babylonier, bei denen beide Längenmaße auch im Gebrauche waren, sie von den Ägyptern erhalten haben. Dagegen spricht jedoch das höhere Alter der babylonischen Kultur, spricht die einfache Art, wie sich beide Maße aus den Wasseruhren der Chaldäer herleiten lassen. Auch diese finden wir bei den astronomischen Beobachtungen der Ägypter, die

1) A. H. Layard, *Niniveh and its remains*. London 1849. Vgl. Harting, *Het Mikroskoop*. Utrecht 1850. Deel 3. S. 6.

2) Lepsius, *Die altägyptische Elle und ihre Einteilung*. Abh. d. Königl. Akad. d. Wissensch. in Berlin 1865. S. 52.

wie in Babylon die Priester anstellten, im Gebrauch. Doch hielten die Priester ihre Kenntnisse, wie die, welche sie auf anderen Gebieten erwarben, geheim, und sicherten sich so ihr Übergewicht über das Volk.

Dem Klima des Nilthales, dessen verwesungsfeindlicher Troekheit die Gewohnheiten seiner Bewohner entgegenkamen, ist es zu danken, dass wir gegenwärtig über eine Fülle von Gegenständen verfügen, welche geeignet sind, uns eine hohe Meinung von der Leistungsfähigkeit Altägyptens in technischen Künsten beizubringen. Seine Bürger waren Meister in Behandlung der Metalle und des Elfenbeins, wie die schönen Arbeiten aus diesen Stoffen in unseren Museen beweisen. Das Gold erhielten sie aus den Quarzgängen der Bergzüge zwischen dem Nil und dem roten Meere, Silber mussten sie einführen und aus diesem Umstande mag es sich erklären, dass es von ihnen in den frühesten Zeiten sogar höher wie das Gold geschätzt wurde. Wie die Kunst des Malers und Bildhauers war die des Goldschmiedes innerhalb derselben Familie erblich. Sie stellten Legierungen durch Zusammenschmelzen von zwei Teilen Gold und drei Teilen Silber her und übten sogar die Kunst des Vergoldens. Dem für den Handel bestimmten geschmolzenen Gold wurde die Gestalt von Ringen von 12 cm Durchmesser gegeben, wie dies aus Fig. 1 ersichtlich ist. Neben den edlen Metallen verwendeten sie



Fig. 1.

Bronze und Eisen. Aus der ersteren waren die meisten Werkzeuge, Gefäße und Waffen hergestellt, das dazu nötige Kupfer holten sie von der Halbinsel Sinai. Die ehemische Analyse soleher Bronzen hat ergeben, dass sie ganz verschiedene Zusammensetzung hatten, man hat sogar eine sechsfache Bronze gefunden. Die Werkzeuge zur Bearbeitung sehr harter Steine fertigten sie aus Eisen an. Wie sie dies

machten, lehrt uns Fig. 2. Mit dem mittels eines Blasrohres nach Anleitung von

Fig. 1 erzeugten Winde, der für das Schmelzen leicht flüssiger Metalle genügende Hitze gab, reichten sie dazu nicht aus. Sie verwendeten deshalb



Fig. 2.

Blasebälge aus Leder, die mit den Füßen getreten wurden. Ein Arbeiter bediente zwei soleher Ledersäcke, von denen je ein Metallrohr zu dem

Kohlenfeuer führte. Der mit jedem Fuße auf einem solchen Saeke stehende Mann hob abwechselnd das eine Bein und zog mittels einer Sehnur Luft schöpfend die Decke des Balges in die Höhe, während das Gewicht seines Körpers gleichzeitig auf dem anderen vorher mit Luft gefüllten ruhte und diese durch das Rohr in das Feuer trieb. Die durch zwei Paar solcher Bälge erzeugte Glut war eine so hohe, dass die Arbeiter nur mittels langer Drähte den Schmelztiegel vom Feuer nehmen konnten¹⁾. Noch heute sind solche Blasebälge in den Ländern Innerafrikas in den Schmieden im Gebrauch, doch pflegt sie ein vor ihnen kauender Mann mit den Armen zu bewegen, während der Schmied als Amboß und Hammer Steine benutzt.

Die bei ihnen einheimische, an Sümpfen wachsende Papyrusstaude, lieferte den Ägyptern die Papierrollen, welche uns, nachdem man die Hieroglyphen lesen gelernt hatte, über ihre Geschichte und Kulturverhältnisse in so überraschender Weise aufgeklärt haben. In einfachster Weise wurde die Oberhaut des etwa 4 Ellen hohen Stengels der Pflanze mit einer Nadel abgelöst, die so erhaltenen Streifen wurden aneinander geleimt, getrocknet und geglättet. Erst im 11. oder 12. Jahrhundert n. Chr., als die Papyruspflanze immer seltener wurde, verdrängte ein aus Baumwolle verfertigtes Papier das ältere. Einem neuerdings in Kairo gemachten Funde zufolge scheint man aber in der Mitte des 11. Jahrhunderts in Ägypten auch Papier aus Leinfaser gemacht zu haben.

Prächtig gefärbte Glasflüsse, die als künstliche Edelsteine benutzt wurden, und namentlich ihre beiden Lieblingssteine, den Lapis Lazuli und den Malachit, nachahmten, aber auch Gefäße aller Art, welche uns erhalten worden sind, beweisen, dass den alten Ägyptern auch die Kunst der Töpferei, der Glas- und Porzellanbereitung nicht fremd war. Wann das Glas erfunden wurde, hat sich allerdings bisher nicht feststellen lassen, für das älteste bekannte Glasgefäß sieht man ein im britischen Museum aufbewahrtes, welches den Namen Dehutmoses III trägt, an. Die Anfertigungsweise der Glasgefäße haben die Bewohner der Nilufer uns in bildlichen Darstellungen aufbewahrt, die Fig. 3 und 4 wiedergeben. Auf der einen sieht man zwei Arbeiter, die um ein Feuer sitzen und in Röhren blasen, an deren unteren Enden grüne Glaskugeln hängen, die andere zeigt rechts einen ebenso beschäftigten, links aber zwei andere, welche einen großen Krug in Bearbeitung haben. Funde aus den Ruinen von Theben und Beni Hassan beweisen ferner, dass die Ägypter auch die Kunst Glas zu schneiden und zu schleifen wohl verstanden.

Ihre Glasgefäße befähigten sie zur Ausführung der Arbeiten, welche sie zu Schöpfern der Chemie gemacht haben. Hatten dieselben wohl auch in erster Linie die Herstellung der mannigfachen Heilmittel zum Zweck, die bei ihnen im Gebranche standen, so kamen sie doch dabei auf Verfahrens-

1) A. Erman, Ägypten und ägyptisches Leben im Altertum. Berlin 1885/87. II. Bd. S. 592—634.

weisen, die auch jetzt noch in der genannten Wissenschaft von grundlegender Bedeutung sind. So übten sie die Destillation aus, und den dazu benutzten Apparat, wie solcher in einem alten Tempel in Memphis noch



Fig. 3 und 4.

im 5. Jahrh. n. Chr. erhalten war, schildert der Alexandriner Zosimus nach eigener Anschauung. Hoefer¹⁾ giebt nach einem in der Pariser Nationalbibliothek aufbewahrtem Manuskript die folgende durch Fig. 5 erläuterte Beschreibung davon:

»Mache drei Metallröhren (*f*), deren Wände ziemlich dicht sind und eine Länge von 16 Ellen (?) haben. Die Öffnungen an der unteren Seite des Ballons (*d*) müssen genau den Röhren sich anpassen, die selbst wieder in kleine Ballons (*e*) auslaufen. Eine weite Röhre (*c*) stellt die Verbindung des Kolbens (*b*) mit dem großen aus Glas bestehenden Ballon (*d*) her und der Apparat schafft — eine sonderbare Erscheinung — den Spiritus (*πνεῦμα*) in die Höhe. Nachdem die Röhren angebracht sind, verkittet man sorgfältig alle Verbindungen. Man muss Sorge tragen, dass der große Glasballon, der über den Kolben gestülpt ist, hinreichend widerstandsfähig gegen die Wärme sei, die das Aufsteigen des Wassers bewirkt, damit er nicht zerbricht.«

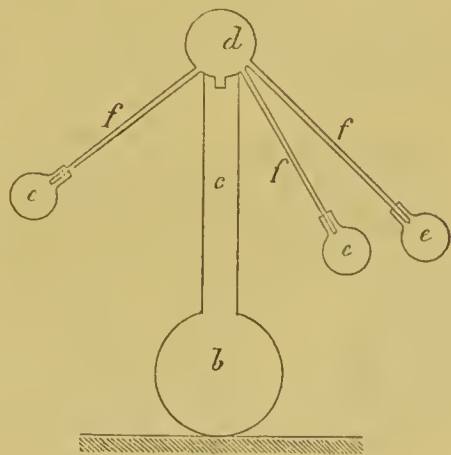


Fig. 5

Der ganze Apparat wurde auf einen Ofen (*τὰ φῶρα*) gestellt. Der Kolben (*b*) war aus Thon, die großen und kleinen Ballons waren immer aus Glas gefertigt, die Röhren bestanden aus Metall oder Thon.

¹⁾ S. Hoefer, Histoire de la Chimie, Paris 1866, p. 263.

Bei ihren chemischen Versuchen mögen sie wohl auch von zwei anderen Apparaten gelegentlich Gebrauch gemacht haben, die auf ihren Darstellungen uns begegnen, vom Heber und von der Wage. Öfter noch verwandten sie sie ohne Zweifel bei den Geschäften des gewöhnlichen Lebens und des Handels.

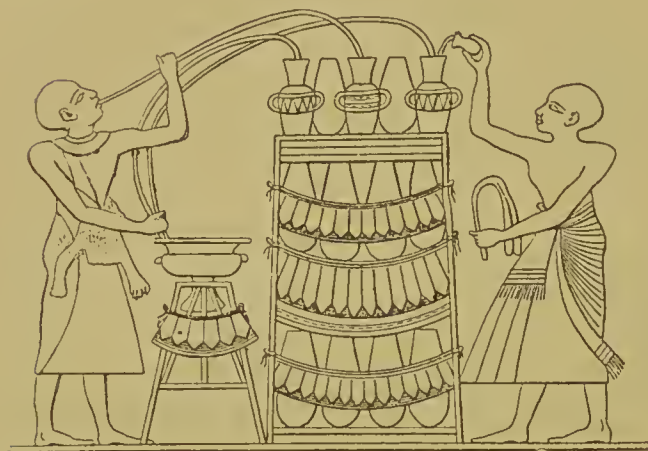


Fig. 6



Fig. 7.

Den Heber zeigt uns unzweifelhaft die aus der Zeit der XVIII. Dynastie stammende Fig. 6, die Wage ist in Fig. 7 dargestellt. Unterseidet sich jener nicht von den noch jetzt gebräuchlichen Apparaten seiner Art, so fehlt dieser die spätere Zuthat der Zunge. Die ägyptische Wage war eine gleicharmige Hebelwage, die an einem Haken hing. Statt der Zunge erlaubte ein an ihrem Balken befestigtes Senkel dessen horizontalen Stand zu beurteilen. Die Gewichte bestanden aus Granit, Blei, Hämatit, Bronze und Alabaster, besaßen Inschriften und hatten die Form eines Kuhkopfes, eines Löwen oder eines Kegels.

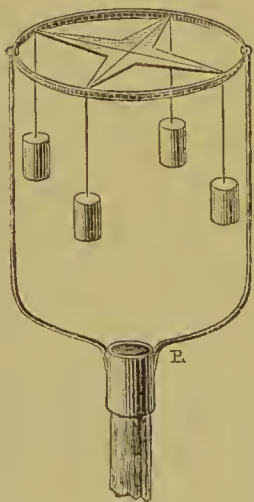


Fig. 8.

Bei einem Volk, das die bewundernswürdigsten Bauten der Welt ausgeführt hat, wird man erwarten dürfen, Instrumente, die den Architekten oder Geometer in den Stand setzten, die Plätze für die Fundamente abzustecken, zu finden. In der That besaß Ägypten dazu die »Stora«, die groma, d. i. Messstange der Römer. Nebenstehende Fig. 8 zeigt, dass sie aus einem Stern bestand, dessen vier sich unter rechten Winkeln kreuzende Arme an ihren Spitzen an Fäden hängende Bleisenkel trugen und zum Einvisieren rechter Winkel benutzt wurden, indem man den den Stern tragenden Bügel auf eine Messstange setzte. Bei starkem Wind muss sich nicht gut damit haben beobachten lassen, deshalb verbesserte sie Heron, wie später genauer gezeigt werden wird, indem er die Senkel

durch vollkommeneren Visiere ersetzte und schuf so das Instrument, das er Dioptra nannte¹⁾.

Erwähnen wir endlich noch, dass die Ägypter auf ihren Schiffen auch bereits Rollen verwendeten, deren Erfindung man gewöhnlich dem Pythagoräer Archytas zuschreibt, so haben wir die Apparate kennen gelernt, welche wir ihnen verdanken, Apparate, welche auch jetzt noch zu den alltäglichsten und häufigst angewendeten gehören.

Die Griechen und Römer.

1. Die Griechen bis Aristoteles.

Die wunderbare Begabung des griechischen Volkes, welche es zu den herrlichsten Leistungen in Kunst und Wissenschaft befähigte, glaubte man nicht hoch genug anschlagen zu können. Auftauchend aus mythischem Dunkel sah man es in wenigen Jahrhunderten eine Höhe ersteigen, die alles was die Völker vor ihm erreicht hatten, weit hinter sich ließ. Und so eigenartig waren seine Werke, dass man den Genius der Hellenen allein für fähig hielt, sie hervorzubringen, dass man jeglichen Einfluss des Orientes auf sie anschießen zu müssen meinte. Wenn dies nun auch hinsichtlich der Kunstwerke möglich schien, so geriet man bei Betrachtung des wissenschaftlichen Nachlasses in ein eigentümliches Dilemma. Verfügt die griechischen Philosophen doch schon bei ihrem ersten Auftreten über einen so großen Wissensschatz, dass die Annahme, sie hätten ihn selbst erworben, unmöglich gemacht werden konnte. Da wir ihre Urschriften aber nicht mehr besitzen, hinsichtlich ihrer nur auf die Inhaltsangaben aus viel späterer Zeit angewiesen sind, so half man sich mit der Annahme, dass diese nicht völlig zuverlässig seien, dass sie vielmehr die Errungenschaften späterer Zeiten auf jene frühere übertragen hätten. Seit jedoch die ersten Wurzeln griechischer Kunst im Orient haben nachgewiesen werden können, seit das reiche Wissen der Chaldäer bekannt, ihre Verbindung namentlich mit den kleinasiatischen Griechen in sehr früher Zeit über jeden Zweifel erhoben wurde, hatte der verhältnismäßig hohe Stand namentlich der astronomischen Kenntnisse jener ältesten Philosophen nichts Überraschendes mehr, und die Notwendigkeit ihre Leistungen herabzusetzen, fiel fort.

Bei dem Unternehmen, die von den Griechen der früheren Zeit angestellten Experimente zu beleuchten, kommt man zunächst zu dem wenig ermunternden Ergebnis, dass in den erhaltenen Schriften von solchen so gut wie gar nicht die Rede ist. Nur bestrebt, je nach dem Standpunkt der Zeit eine einheitliche Weltanschauung, ein philosophisches System, zu liefern, scheint es als ob ihre Forscher diesen wichtigsten Teil ihrer Arbeit

¹⁾ S. A. de Rochas, Les origines de la science et ses applications. Paris (ohne Jahreszahl, ca. 1884). p. 233.

ganz außer acht gelassen hätten, ein Vorwurf, der ihnen in der That gemacht worden ist¹⁾.

Indessen verhält sich die Sache in Wirklichkeit doch etwas anders. Wie Faye²⁾ es unternehmen konnte, aus den zu den verschiedensten Zeiten von Moses an aufgestellten kosmogonischen Theorien auf die zur Zeit ihrer Konzeption vorhandenen Kenntnisse von der Erde und ihrer Umgebung zu schließen, so ist es auch möglich, aus den aufeinander folgenden philosophischen Systemen der Griechen deren physikalische Kenntnisse zu entnehmen. Da diese aber auf gemachten Beobachtungen und angestellten Versuchen beruhen, so ergibt sich aus jenen auch der Standpunkt der Experimentierkunst ihrer Zeit. In der That begegnen wir mancher für dieses Ziel ohne weiteres zu verwertenden Bemerkung und bedenkt man, dass in den Zeiten der griechischen Philosophen bis auf Aristoteles so gut wie gar keine experimentellen Kenntnisse vorhanden waren, die einfachsten physikalischen Thatsachen also noch zu entdecken und zu prüfen waren, so wird man nicht sowohl darüber erstaunt sein, dass die Griechen so wenig, als vielmehr, dass sie so viel experimentiert haben.

Nach Aristoteles, der in seinen Werken das Gesamtwissen seiner Zeit abschließend zusammenfasst, ändert sich dies freilich mit dem ihm der Zeit nach am nächsten stehenden Forscher. Mit Archimedes tritt der erste experimentelle Forscher im Sinne der Neuzeit auf, der darauf verzichtet weitere Folgerungen aus seinen Versuchen zu ziehen, als deren sachgemäße Betrachtung ergibt. Sein Name hat sich deshalb auch noch in unseren Lehrbüchern erhalten. Ihm folgen die Alexandrinischen Weisen, während sich die Römer nur rezeptiv und etwa Vorhandenes zusammenfassend bemühen. Unsere Betrachtungen sind also so anzustellen, dass wir vor Aristoteles und Archimedes die früheren, nachher die späteren griechischen Philosophen zu betrachten haben. Wir beginnen mit der Betrachtung der Arbeiten der ältesten griechischen Philosophen.

Solche finden wir zunächst nicht im Mutterlande, sie treten uns in den Kolonien, bezeichnenderweise in denen Kleinasiens, welche mit dem Orient die meisten Beziehungen haben konnten, entgegen und um uns über solche nicht im unklaren zu lassen, wird uns auch von Reisen berichtet, die jene Philosophen namentlich in Ägypten mit den Hütern der Geheimnisse der Wissenschaft, mit den Priestern, zusammenführten. Akustische Versuche sind es, welche als erste ihr Interesse erregen. So wird uns von dem Lesbier Terpander (um 676 v. Chr.) berichtet, dass er der vor ihm sechssaitigen Kithara noch eine siebente Saite gab³⁾. Es bedeutet dies nichts anderes, als dass er der bis dahin sechsstufigen Tonleiter einen siebenten Ton zufügte, so dass die Tonleiter nunmehr aus einem Tetrachord und

1) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 10 u. 27.

2) Faye, L'Origine du Monde. 2. Ed. Paris 1885. S. 8ff.

3) Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen. Braunschw. 1870. S. 418.

einem Trichord bestand, deren Stimmung nach unserer Bezeichnung die folgende war:

$$e \cup f - g - a - h \cup - d' - e'.$$

Pythagoras aus Samos (geb. um 582 v. Chr.), der sich nach mannigfachen Reisen, die ihn ebenfalls nach Ägypten führten, in Unteritalien niederließ, (nach anderen Lichaon aus Samos) soll dann das Trichord zu einem dem ersten gleichen Tetrachord ergänzt und so die erste diatonische Tonleiter aufgestellt haben¹⁾. Er oder seine Schüler untersuchten sodann die Abhängigkeit der Höhe der Töne von der Länge der sie gebenden Saiten. Sie benutzten eine auf einem mit Maßstab versehenem Resonanzkasten gespannte Saite, unter der ein Steg hin und her geschoben werden konnte²⁾ und ist dieser einfache Apparat, das Monochord, demnach der älteste physikalische, dessen Gebrauch wir nachweisen können. Sie fanden, dass die Hälfte der Saite die Oktave, $\frac{2}{3}$ die Quint, $\frac{3}{4}$ die Quart des Tones giebt, den die Saite als Ganzes hören lässt, und dass diese Töne mit der unverkürzten Saite konsonieren. Erst die neuere Physik ist von den Saitenlängen zu den Schwingungszahlen übergegangen³⁾. Diesen Beobachtungen so einfacher Zahlenverhältnisse legten die Pythagoräer solchen Wert bei, dass sie sie, wie bekannt, auf die Entfernungen der Planeten übertrugen, dass sie substantiell genommen in der Zahl das Wesen aller Dinge sahen und so freilich die empirische Grundlage, die sie gewonnen hatten, wieder völlig preisgaben.

Zu ganz anderen Anschauungen über die Grundlage alles Seins gelangten die drei Philosophen, welche man als die jonische Schule zusammenzufassen pflegt, Thales (um 575) und die Milesier Anaximander (611—545) und Anaximenes (gest. um 525). Freilich ist weder die von Thales aus Beobachtungen an der Mündung des schlammreichen Mäander gebildete Ansicht, dass das Wasser, noch aus der vertieften Anschauung Anaximanders, dass die ἀρχή, der Urstoff, das Grundprinzip alles Seins sei, geeignet auf den Umfang der physikalischen Kenntnisse, über welche beide verfügten, einen Schluss ziehen zu lassen. Mehr ist dafür aus der von Anaximenes vertretenen Lehre, die Luft sei die »wahre Ursache«, der letzte Grund aller stofflichen Veränderungen, zu entnehmen. Setzt sie doch einige Kenntnisse der Eigenschaften der Luft voraus. Nach Aristoteles⁴⁾ Mitteilungen war der Schüler des Anaximander der Ansicht, dass die verschiedenen Stoffformen ihr besonderes Gepräge durch »Verdünnung« (μείωσις oder ἀραιώσις) und durch »Verdichtung« (πύκνωσις) erhielten. Durch den ersteren Vorgang entsteht aus der Luft das Feuer, durch den zweiten folgeweise Wind, Wolken, Regen und Wasser, Erde und Gesteine. Verdünnung sollte mit Erwärmung, Verdichtung mit Ab-

1) Helmholtz, a. a. O. S. 421.

2) Helmholtz, a. a. O. S. 26.

3) Helmholtz, a. a. O. S. 2. — Zeller, Geschichte der griechischen Philosophie. I. Bd. 1. Hälfte. S. 401.

4) Aristoteles, Phys. I. 4.

kühlung identisch sein¹⁾ und so begegnen wir hier bereits der Ansehauung, dass alle Stoffe fähig sind, in jedem der drei Aggregatzustände aufzutreten. Dagegen finden wir bei Thales und Anaximander nicht unbedeutende astronomische Kenntnisse, sehen den letztern auf geographischem Gebiet erfolgreich arbeiten. Dass der »Vater der griechischen Philosophie« die totale Sonnenfinsternis vom 28. Mai 585 v. Chr. seinen Landsleuten vorhersagen konnte, ist nach dem oben mitgeteilten sehr wohl möglich. Die zur Lösung einer solchen Aufgabe nötigen Kenntnisse soll er sich in Sardes angeeignet haben, er soll ferner bei einem längeren Aufenthalt in Ägypten den dortigen Priestern die Methode aus der Proportionalität der Strecken, Höhen von Bauwerken u. s. w. zu finden an die Hand gegeben haben, wenn hier nicht eine Verwechslung zwischen Unterweisendem und Unterwiesenen vorliegt. Anaximander dagegen lehrte den Hellenen Einrichtung und Handhabung des babylonischen Gnomon kennen, stellte auch einen Himmelsglobus her. Nach den Berichten der durch vielfache Land- und Seereisen wohlverfahrenen jonischen Kaufleute suchte er sodann die erste Erdkarte zu entwerfen, welche die Erde als eine vom Okeanos umflossene Scheibe mit einem Meerbusen in der Mitte zeigte. Aber auch eine Reihe anderer Kenntnisse, die nur durch angestellte Versuche erhalten sein konnten, besaßen die beiden jonischen Philosophen. Nur so konnten sie gefunden haben, dass, was indessen auch den Ägyptern bereits bekannt war, der Magnet das Eisen, mit Wolle geriebener Bernstein leichte Körperchen anzieht, Eigenschaften, die Thales freilich nach echt griechischer Art einer den wirkenden Körpern innewohnenden Seele zuschrieb²⁾. Anaximander wiederum hatte aus der kriegerischen Verwendung der Schleudersteine auf das Walten der Flichkraft geschlossen und bereits ausgesprochen, dass die durch einen am Ende einer Schnur befestigten geschwungenen Stein hervorgerufene Zugkraft, um so größer werde, je größer der Stein genommen würde³⁾. Seine Erklärung des Windes als einer Strömung der Luft, welche die Sonne durch Verbrennung und Verflüchtigung der feinsten und feurigsten Teile hervorrufe⁴⁾, ersetzte indessen Anaximenes sachgemäßer durch die bereits angedeutete. Die organischen Wesen ließ Anaximander aus dem Meeresschlamm entstanden sein, war aber der Ansicht, dass alles Entstandene zu Grunde gehen müsse und dass nur der Urstoff unvergänglich sei. Nach allem diesem wird man in das der Beobachtungsgabe des Anaximander gespendete Lob wohl einstimmen dürfen, dass er »aus⁵⁾ dem Augen- und Sinnfälligen das der Wahrnehmung Entrückte zu erschließen« besonders befähigt gewesen sei.

Auch die eleatischen Philosophen und Herakleitos von Ephesus suchten in erster Linie nach dem Urgrund des Seins. Fanden ihn jene in

1) Plutarch, de pr. frig. 7, 3.

2) Aristoteles, De anima 1, 2.

3) Gomperz, Griechische Denker. Leipzig 1895. S. 41.

4) H. Berger, Geschichte der wissenschaftlichen Erdkunde der Griechen. Leipzig 1893. Bd. I. S. 98.

5) Gomperz, a. a. O. S. 41.

dem Sein schlechtthin, so glaubte es dieser im Werden entdeckt zu haben. Aus diesen Annahmen kann freilich wohl nur entnommen werden, dass ihre Urheber naturwissenschaftlicher Forschung fern standen. Wenn es auch verlockend sein möchte, den herakleitischen Ausspruch, dass die Dinge dem lebendigen Vorgange des Feuers ihr Dasein schuldeten, als einen unsern Anschauungen nahestehenden anzusehen, so ist daran in Wirklichkeit gar nicht zu denken; denn von dem Verbrennungsvorgang, auf dessen genauer Erkenntnis unsere Auffassung vom Leben beruht, hatte das ganze Altertum nicht die entfernteste Ahnung. Die Eleaten und Herakleitos haben für uns nur das Interesse, dass sie die letzten Konsequenzen des jonischen Gedankens, allen Dingen liege ein einziges Prinzip zu Grunde, zogen und ihre Nachfolger dadurch veranlassten, einen neuen Weg zur Erkenntnis der natürlichen Dinge zu gelangen zu suchen.

Er lag nahe genug! Konnte man nicht auf ein Grundprinzip, ein Element alles Seins schließen, so musste man mehrere an seine Stelle setzen. Die zu diesem Zweck von Empedokles aus Agrigent (um 490 bis 430) aufgestellten bekannten vier Elemente Feuer, Wasser, Erde, Luft haben freilich nur das Bedürfnis des Volkes zu befriedigen vermocht, die Homöomerier des Anaxagoras aus Klazomenae (um 500), eine Vielzahl von individuellen Gebilden, deren einseitiges Vorherrschen die qualitative Verschiedenheit der Körper bedingen, deren Entstehungsursache aber der einheitliche göttliche Geist (der *Noûs*) sein sollte, hatten dagegen nur philosophischen Wert, die von Leukippos, dessen Existenz man neuerdings in das Gebiet der Sage zu verweisen gesucht hat¹⁾, und sicher von dem Abderiten Demokritos (470—362) als Bausteine aller Körper angenommen kleinsten, unteilbaren materiellen Theilen von verschiedener Größe und Gestalt haben dagegen längst als Atome das Bürgerrecht in der Naturwissenschaft erhalten.

Im Gegensatz zu des Anaxagoras Lehre lag der des Empedokles und der Atomiker eine Reihe von experimentellen Beobachtungen zu Grunde. Einzelne von ihnen sind uns aufbewahrt. So suchte der Agrigentinier die Hautatmung durch den folgenden Versuch zu erklären. Verschießt man eine enge in dem Boden eines Gefäßes befindliche Öffnung mit dem Finger, taucht es, die Öffnung nach unten in Wasser und zieht den Finger weg, so dringt das Wasser nicht ein, weil die Luft nicht entweichen kann. Umgekehrt mit freier Öffnung in Wasser getaucht, füllt es sich sofort damit an. Ebenso soll die äußere Luft nur dann in den menschlichen Körper eindringen können, wenn sich das Blut von dessen Oberfläche zurückzieht und den inneren Theilen zuströmt²⁾. Eine Erklärung der sonstigen Beobachtungen widersprechender Thatsachen, dass die Him-

1) So P. Tannery in *Revue des Études grecques*. T. X. No. 38, vgl. Rhode in *Verhandlungen der 34. Philologen-Versammlung* S. 64 ff. und *Fleckeisens Jahrbuch* 1891. S. 741 ff., Natorp im *Rheinischen Museum* XL. S. 349 ff. und H. Diels in den *Verhandlungen der 35. Philologen-Versammlung* S. 96 ff.

2) Gomperz, a. a. O. S. 191, vgl. Aristoteles, *de caelo*, II. 13.

melskörper nicht auf die in ihrer Mitte befindliche Erde herabstürzen, sieht er dagegen in dem Kunststück, das ihm bei Schanstellungen vorgeführt worden war. Dort hatte man mit Wasser gefüllte Becher, den Boden nach außen an Reifen befestigt und diese im Kreise herumgeschleudert. Auch wenn die Öffnung nach unten gekehrt war, war das Wasser nicht herausgefallen¹⁾. Demokritos aber suchte die aus der Annahme der Atome sich ergebende Folgerung, dass die Körper eine Menge leerer Räume enthielten und dass der dichtere Körper einen geringeren Gehalt an »Leerem«, wie der weniger dichte aufweisen müsse, dadurch zu stützen, dass er in ein mit Asche gefülltes Gefäß Wasser goss und, wie er meinte, fand, dass die Menge des aufgenommenen Wassers derjenigen gleich war, welche das leere Gefäß aufnehmen konnte. Die hieraus von ihm gezogenen Folgerungen²⁾ haben wir hier nicht zu widerlegen, erwähnt sei nur noch sein Versuch, die verschiedene Härte der Körper zu erklären, welcher mit der Thatsache im Widerspruche stand, dass der schwerere Körper nicht immer der härtere ist. Diesen Widerspruch glaubte der Abderite durch die Annahme lösen zu können, dass er zwar zugab, dass der schwerere Körper mehr Atome und weniger Leeres enthalte, aber für den härteren die Voraussetzung machte, in ihm sei das Leere ungleichmäßiger verteilt.

Ist somit Empedokles der erste gewesen, der den Begriff des Elementes als des in sich gleichartigen, qualitativ unveränderlichen und nur wechselnden Bewegungszuständen und mechanischen Teilungen zugänglichen Stoffes aufstellte und zur Erklärung der in den Körpern vor sich gehenden Veränderungen Ursachen der Bewegung oder bewegendende Kräfte annahm, wenn er sie auch noch nicht als mechanisch auffasste, so gebührt Demokrit das Verdienst, den Begriff der Elemente schärfer gefasst und aus ihm die Konstitution der Körper zuerst erklärt zu haben³⁾.

Wir würden unserer Aufgabe nur zum Teil gerecht werden, wollten wir nicht einen Blick auf den Standpunkt der ärztlichen Wissenschaft der damaligen Zeit werfen. Denn nicht nur, dass die Ärzte mancherlei für den Physiker Wichtiges bearbeiteten, auch die Philosophen beschäftigten sich mit medizinischen Fragen und so hat Demokritos über gewisse Krankheitsformen und über Arzneimittel⁴⁾ geschrieben. Ebenso wie Schulen für Philosophen gab es auch solche für Ärzte, namentlich in Kos, Knidos, Rhodos, Kroton und Kyrene, in denen bereits die Elemente der physikalischen Diagnostik, insbesondere der Auskultation gelehrt wurden. Die berühmteste war die von Kos und deren Hauptzierde Hippokrates II. (geb. 459 oder 460), welcher die unter dem Namen der »Hippokratisehen Sammlung« bekannten, von ihm selbst und anderen köischen Ärzten verfassten medizinischen Schriften herausgab. In ihr finden sich die auch für uns

1) Gomperz, a. a. O. S. 195.

2) Gomperz, a. a. O. S. 267.

3) Windelband, Geschichte der alten Philosophie in Iwan Müller. Handbuch der klassischen Altertumswissenschaft 1888. V. 1. S. 161.

4) Plinius, Hist. nat. XXVIII. 8.

wichtige Beschreibung des Seh- und Hörorgans. Am Augapfel unterscheiden die Hippokratiker drei Hante, die Sclerotiea, die Hornhaut, »die, wenn sie zerreißt, eine Art Blase hervortreten lässt« und die feinste von allen, welche die den Bulbus erfüllende Flüssigkeit einschließt. Das Sehen geschieht durch die Perzeption des Lichtes, welches sich in der Pupille abspiegelt. Das Gehörorgan besteht aus dem knöchernen Teile des Ohres und dem Trommelfell, »einer Haut, dünn wie Spinnewebe«. Über die Art, wie die Hörempfindung zustande kommt, haben sich die Hippokratiker nicht ausgesprochen¹⁾.

Der Philosoph, dessen Auftreten den Höhepunkt der griechischen Philosophie bedeutet, hat den Naturwissenschaften unmittelbar nur wenig genützt. Zwar war Sokrates der erste, welcher sich der induktiven Methode bediente, aber er wandte sie nur auf ethische und philosophische Untersuchungen an und erst durch Aristoteles gewann sie für die Naturwissenschaft Bedeutung. Denn auch in den Schriften Platons dient die sokratische Methode nur philosophischen Fragen. Gleichwohl finden auch in ihnen gelegentlich als Beispiele physikalischer Thatsachen, die nur durch Versuche gefunden werden konnten, ihre Stelle, wie wenn im Symposion Sokrates sagt²⁾: »Das wäre vortrefflich, Agathon, wenn es mit der Weisheit so bestellt wäre, dass sie sich durch Berührung aus dem volleren von uns in den leereren herüberleiten ließe, wie das Wasser in den Bechern, das durch einen Wollstreif aus dem vollen in den leeren fließt«, woraus auf eine Bekanntschaft mit capillaren Erscheinungen geschlossen werden muss. Wie man ebenso die Komödien des Aristophanes hat heranziehen können zum Beweis, dass zu seiner Zeit der Gebrauch von Brenngläsern in Athen ein allgemein bekannter war, haben wir bereits angeführt³⁾.

2. Aristoteles.

Einzelne Versuche oder Geräte finden wir bei Aristoteles aus Stagira (384—322 v. Chr.) nicht beschrieben. Er fasst vielmehr den ganzen Wissensschatz seiner Zeit zusammen und sucht die allgemeinen Gesetze und Theorien, die sich daraus ergeben, aufzustellen. Seine Schriften sind deshalb von um so größerer Bedeutung auch für die Geschichte der Experimentierkunst, als sie erkennen lassen, zu welchen Anschauungen die empirischen Kenntnisse seiner Zeit führten. Die hier in Betracht kommenden sind die acht

1) Haeser, Lehrbuch der Geschichte der Medicin. Jena 1875. I. S. 141.

2) Platos Gastmahl, übersetzt und erläutert von E. Zeller. Marburg 1857. S. 6.

3) Die betreffende Stelle in den »Wolken« lautet:

ΣΤΡ. Ἦδη παρὰ τοῖσι φαρμακοπόλαις τὴν λίθον
ταύτην ἐόρακας, τὴν καλήν, τὴν διαφανή,
ἀφ' ἧς τὸ πῦρ ἄπτονται; *ΣΩ.* τὴν ὕαλον λέγεις;
ΣΤΡ. Ἐγώ γε. Φέρε,
ἀπωτέρω σιὰς ὧδε πρὸς τὸν ἥλιον
τὰ γράμματα' ἐκτίζαιμι

Bücher über Physik¹⁾, die vier Bücher über dem Himmel²⁾, die zwei Bücher über Entstehen und Vergehen³⁾, die vier Bücher Meteorologie⁴⁾ und die mechanischen Probleme⁵⁾. Sie sind die ersten, die Figuren mit Buchstaben bringen.

Für unsere Zwecke wird es sich empfehlen, ihren Inhalt nach den in ihnen abgehandelten Disziplinen zusammenzufassen.

Indem wir mit Aristoteles' Untersuchung über das »Sein« und das »Leere« beginnen, die die Frage nach der Konstitution der Körper behandelt, müssen wir freilich seine Ansichten über die Luft vorweg nehmen. »Diejenigen nun«, sagt er⁶⁾, »die zu zeigen versuchen, dass das Leere nicht sei, widerlegen nicht das, was die Leute als ein Leeres bezeichnen wollen, sondern greifen mit dem, was sie sagen, fehl, wie Anaxagoras und alle jene, die nach dieser Weise argumentieren. Diese nämlich demonstrieren nur, dass die Luft etwas ist, indem sie die leeren Schläuche recken und strecken und dabei zeigen, wie stark die Luft sei, oder indem sie die Luft in Wasseruhren festhalten. Die Leute aber wollen unter dem Leeren eine Ausdehnung verstehen, in der kein sinnlich wahrnehmbarer Körper ist, und indem sie meinen, jedes Seiende sei ein Körper, sagen sie, dass dasjenige leer sei, in dem überhaupt gar nichts ist, nicht demnach, dass das mit Luft gefüllte leer sei. Also nicht das muss man zeigen, dass die Luft etwas ist, sondern, dass es keine von den Körpern verschiedene Ausdehnung giebt, weder trennbar von ihnen, noch dem Aktus nach seiend, die den ganzen Körper auseinander hielte, so dass er nicht mehr kontinuierlich wäre, wie Demokritos und Leukippos und viele andere Naturphilosophen dies behaupten, oder dann auch, ob etwa außerhalb des gesamten kontinuierlich seienden Körpers etwas solches ist«.

Die Luft spielt eine wichtige Rolle in der aristotelischen Bewegungslehre. Auf zweierlei Art können sich die Körper bewegen, so, dass ihre Bewegung aufhört, wie die eines auf horizontaler Unterlage fortgestoßenen Körpers oder so, dass sie fort dauert, wie die eines fallenden Steines oder die Kreisbewegung. Dieses ist deshalb die natürliche, jenes die gewaltsame oder widernatürliche. Die letztere bedarf, wenn sie dauern soll, stets neuer Antriebe, welche von der Luft erteilt werden, »da der geschleuderte Körper, wenn das Fortstoßende aufhört, denselben zu berühren, entweder durch Gegendruck, wie einige sagen, bewegt wird, oder deswegen, weil die fortgestoßene Luft wieder in einer Bewegung fortstößt, die schneller ist als die Raumbewegung des fortgestoßenen Körpers, in der er an seinen heimatlichen Ort hin bewegt wird«. Dass diese Erklärung nicht recht befriedigend ist, scheint übrigens der Stagirite selbst gefühlt zu haben. Wenigstens findet sich im 8. Kapitel des IV. Buches die

1) *Φυσικὴ ἀκρόασις.*

2) *Περὶ Οὐρανοῦ.*

3) *Περὶ Γενέσεως καὶ Φθορᾶς.*

4) *Μετεωρολογικά.*

5) *Μηχανικά προβλήματα*, die einige Zusätze von fremder

Hand enthalten sollen. 6) Aristoteles, Acht Bücher Physik, übersetzt von Carl Prantl. Leipzig. IV. Buch, 6. Cap.

Stelle: »Ferner könnte wohl niemand angeben, warum etwas, was einmal in Bewegung gesetzt worden ist, irgendwo stille stehen sollte«, eine Stelle, die eine Ahnung des Beharrungsvermögens zu enthalten scheint.

Die natürliche Bewegung kann nun eine unvollkommene oder eine vollkommene sein, ersteres, wenn sie, wie die eines fallenden Körpers nicht gleichförmig und nicht unendlich ist, letzteres, wenn sie ohne sich zu ändern in alle Ewigkeit fort dauert. Bei der Rolle, die Aristoteles der Luft bei der gewaltsamen Bewegung zuschrieb, musste ihm der Gedanke fern liegen, dass sie dem fallenden Körper einen Widerstand entgegensetze. Die verschiedene Fallgeschwindigkeit verschiedener Körper suchte er sich deshalb aus dem großen oder geringeren Gewichte der Körper zu erklären und meinte¹⁾, »dass der Körper der schwerere ist, der bei gleichem Inhalt schneller abwärts geht«. »Ein größeres Stück Gold fällt also schneller als ein kleineres, und ein größeres Stück Blei schneller als ein kleineres.« Diese Behauptungen sind es namentlich gewesen, die Galilei zur Anstellung seiner Fallversuche bewogen. Die vollkommene natürliche Bewegung ist nur den Himmelskörpern eigen. Denn diese, die an besonderen Sphären befestigt sind, bestehen aus einem himmlischen Stoff, dem fünften Element, dem Äther oder der Quintessenz (*quinta essentia*).

Die Kreisbewegung irdischer Körper, die nicht aus Äther bestehen, muss deshalb andere Merkmale haben. Sie zeigt sich als aus einer natürlichen und einer widernatürlichen Bewegung zusammengesetzt. Aristoteles untersucht, um hier Klarheit zu schaffen, erst, was geschieht, wenn ein Körper zugleich nach zwei Richtungen bewegt werden soll. »Wenn nun etwas nach irgend einem Verhältnisse bewegt wird«, sagt er darüber²⁾, »so dass es eine gerade Linie durchlaufen muss, so wird sie die Diagonale einer Figur sein, welche die in diesem (gegebenen) Verhältnisse zusammengesetzten Linien bestimmen. Denn es sei das Verhältniss der Bewegung dasjenige, welches AB zu AC hat, und es werde

A nach B getrieben (Fig. 9), AB aber nach CG . In einerlei Zeit aber gelange A nach D und AB nach EF . Ist da dann das Verhältniss der Bewegung das selbe, das AB zu AC hat, so ist es auch notwendig das von AD zu AE , das kleine Vierseit ist mithin ähnlich dem größeren und es wird auch die Diagonale

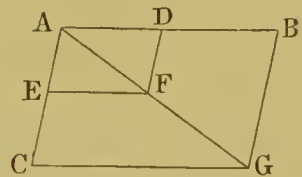


Fig. 9.

AF in die AG fallen; dies wird aber immer stattfinden, wie wir auch die Bewegung begrenzen; denn immer wird sie auf dieser Diagonale fortgehen. Hieraus also wird offenbar, dass etwas auf der Diagonale nach zwei Richtungen Bewegtes notwendig in dem Verhältniss dieser Seiten bewegt wird. Denn geschähe es nach der einen, so könnte es nicht diese Diagonale durchlaufen. Änderten aber zwei Bewegungen jeden Augenblick ihr Verhältniss zu einander, so wäre damit eine geradlinige zu bewirken unmöglich.«

1) Aristoteles, Über den Himmel. IV. Buch.

2) Aristoteles, Mechanische Probleme von F. J. T. Poselger. Hannover 1881. S. 25.

Punkte B, P, G als unendlich nahe annimmt und man wird deshalb mit Poselger annehmen dürfen, dass Aristoteles diese Punkte so betrachtet haben wollte.

Wir haben die aristotelische Theorie der Kreisbewegung hier deshalb so ausführlich wiedergegeben, weil einmal darauf die erst von Galilei aufgeklärte Aufgabe des Rades des Aristoteles beruht und sodann weil der Stagirite von ihr in seiner Theorie des Hebels ausgeht. Das Rad des Aristoteles ist in Fig. 11 dargestellt. Er fragt, warum bei seiner Umwälzung ein größerer Kreis DCE eine ebenso große Linie abwickelt, wie der kleinere DCF , wenn sie, mit einander verbunden, um denselben Mittelpunkt bewegt werden, so dass beide nach Belieben das Stück EG oder FL und EH oder FI abwickeln würden. Die Schwierigkeit liegt nur in der unrichtigen Fragestellung, denn nur einer der Kreise kann abgewickelt werden, der andere muss zum Teil gleiten.

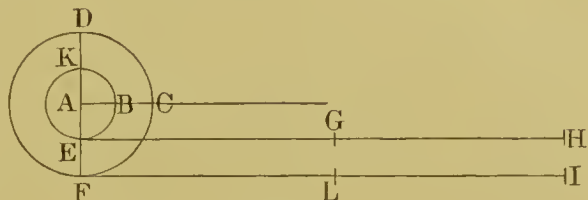


Fig. 11.

Hat diese Spitzfindigkeit für uns kein größeres Interesse mehr, so gilt das Gegenteil von der Anwendung der obigen Sätze auf den Hebel. Aristoteles redet allerdings nur vom zweiarmigen. Da er das Ruder; das Steuer und den Mast eines Schiffes aneh als zweiarmige Hebel ansieht, so scheint es, als habe er den einarmigen noch nicht gekannt. Die Bedingungen des Gleichgewichtes der zweiarmigen Wage leitet er nun folgendermaßen ab:

»Sei das Reehteck BC , Fig. 12, der Wagebalken, AD der Anhängenhaken, der, abwärts verlängert, die Senkrechte ADG bildet. Wenn man das aufgelegte Gewicht B nach E und C nach J bringt, so wird die den Wagebalken in der Mitte teilende Linie, vorher in der Senkrechten selbst, DG , belegen, nach der Gewichtsvermehrung in DF , also die Mitte des Wagebalkens EJ außerhalb der Senkrechten AG fallen, mithin mehr als die Hälfte desselben auf die eine Seite von DH . Wird daher von E ein Gewicht hinweg genommen, so muss notwendig J herabsinken wegen seines Übergewichtes über E . Also springt der Wagebalken aufwärts, wenn der Anhängenhaken sich oberhalb befindet. Wird aber jener unterhalb unterstützt, so ergibt sich das Gegenteil. Dann nämlich wird der abwärts gehende Teil des Wagebalkens größer, als die durch die Senkrechte bestimmte Hälfte desselben und springt nicht zurück, weil der in die Höhe gehobene Teil nun der leichtere ist. Sei das Reehteck RS , Fig. 13, der Wagebalken und KLM ,

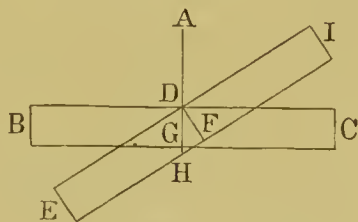


Fig. 12.

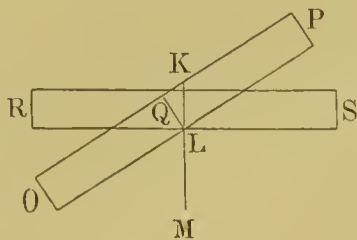


Fig. 13.

die darauf Senkrechte, teile ihn in zwei Hälften. Es werde auf R ein Gewicht aufgelegt und R nach O und S nach P gebracht, so kommt KL in QL , so dass KO um das Stück AKL größer wird als LP , und daher muss auch nach weggenommenem Gewichte der Wagebalken in dieser Lage verharren; denn es ist gleichsam noch das Gewicht des Überschusses von OK über die Hälfte aufgelegt«. Aristoteles fragt nun weiter: »Warum kleine Kräfte am Hebel große Lasten bewegen, wenn man noch die Last des Hebels hinzufügt?« und beantwortet die Frage in folgender Weise: »Am Hebel vereinigen sich drei Punkte, die Unterlage, der Aufhängepunkt und der Mittelpunkt, und zwei Lasten, die bewegende und bewegte. Die bewegte Last aber steht zu der bewegenden in einem umgekehrten Verhältnisse mit ihren Entfernungen (vom Mittelpunkte); und immer wird die Bewegung um desto leichter bewirkt, je weiter das Bewegende sich von dem Mittelpunkte entfernt aus der angeführten Ursache, dass der größere Halbmesser einen größeren Kreis beschreibt und daher einerlei Kraft das Bewegende desto weiter aus seiner Stelle bringt, je weiter es von seiner Unterlage entfernt ist«.

So spricht hier Aristoteles, wenn auch nur andeutungsweise, das Hebelgesetz aus. Indem er es aus Eigenschaften des Kreises herleiten will, die sich ebenso zu widersprechen scheinen, wie die Möglichkeit, mittels des Hebels durch kleine Gewichte große zu heben, und die er in der Ruhe in Beziehung auf den Mittelpunkt, verbunden mit gleichzeitiger Bewegung in Beziehung auf den Halbmesser, nimmt, musste ihm volle Klarheit versagt bleiben. Das drückt sich auch in der Art aus, wie er darthun will, dass längere Wagebalken genauer als kürzere wiegen. Der Aufhängehaken erscheint ihm als beharrender Mittelpunkt, die Arme sind Kreishalbmesser. Je weiter also ein Gewicht vom Mittelpunkt sich befindet, desto schneller wird es den Wagebalken bewegen, während Gewichte, in geringerer Entfernung vom Mittelpunkte aufgesetzt, sich der Wahrnehmung weniger bemerklich machen. »Daher bedienen sich die Purpurkrämer betrüglicher Kunstgriffe, indem sie den Aufhängepunkt außerhalb der Mitte setzen und in einen Teil der Wage Blei einlassen und auf die Seite, die sie herabsinken lassen wollen, Holz von der Wurzel oder Knotiges anbringen; denn schwerer ist aus der Wurzel genommenes Holz, und der Knoten im Holze ist eine Wurzel«. Wir sehen, dass ein Aichamt schon damals recht am Platze gewesen wäre, obgleich man mit sehr vollkommenen Wagen keineswegs ausgerüstet war.

Über die Gleichgewichtsbedingungen in Flüssigkeit getauchter Körper ins Klare zu kommen, hat Aristoteles vergeblich versucht. Es war zu seiner Zeit bekannt, dass Schiffe im Flusswasser einen größeren Tiefgang haben wie im Meerwasser, ohne dass ihre Belastung geändert wird, dass Eier in Salzlake schwimmen, in süßem Wasser aber zu Boden sinken, ja man erzählte von einem See in Palästina mit so hohem Salzgehalte,

dass Menschen und Tiere in ihm nicht untersinken¹⁾. Die Erklärung dieser Thatsachen, die der Stagirite in seiner Ausdrucksweise so wiedergab, dass ein Stück Holz vom Gewichte eines Talentos (26,10 kg) im Wasser leichter wird wie ein Stück Blei, welches nur eine Mine (437 g) wiegt, können wir als eine solche freilich nicht anerkennen. Bedenkt man, dass noch Jahrhunderte vergingen, ehe man zu dem Begriffe des spezifischen Gewichtes gelangte, so kann das allerdings nicht verwundern.

Bemerkenswerter sind Aristoteles' Ansichten über das Wesen des Schalles und des Lichtes. »Ein Ton entsteht«, sagt er²⁾, »nicht dadurch, dass der tönende Körper der Luft, wie Einige glauben, eine gewisse Form eindrückt, sondern dass er die Luft auf angemessene Weise in Bewegung setzt. Die Luft wird dabei zusammengedrückt und aneinander gezogen und durch die Stöße des tönenden Körpers immer so wieder fortgestoßen, so dass sich der Schall nach allen Richtungen ausbreitet. Weder die Luft, noch das Wasser (wenn der Schall sich im Wasser fortpflanzt) sind des Schalles Ursache, sondern es muss ein Stoß fester Körper gegen einander und gegen die Luft erzeugt werden«. An einer anderen Stelle heißt es: »Die Luft selbst ist schalllos wegen der Verschiebbarkeit ihrer Teile; wird dieses Verschieben aber gehindert, so ist ihre Bewegung Schall«. Hätte man aus den ersten mitgeteilten Stellen den Schluss ziehen können, dass Aristoteles den Schall für Schwingungen der Luft hielt, so zeigt die letztere wiederum, dass er doch noch wenig klar darüber war. Das Wesen des Echos aber hat er richtig als eine Reflexionserscheinung erkannt. Er wusste ferner, dass der Schall bei Nacht besser und in größerer Entfernung als bei Tage gehört wird, glaubt aber auch, dass dies im Winter besser geschehe wie im Sommer. Endlich war ihm nicht unbekannt, dass eine Pfeife, wie eine Saite, die höhere Oktave des Tones gebe, den man der doppelt so langen entlocken kann.

Weniger klar spricht er sich über das Wesen des Lichtes aus. »Das Licht«, sagt er³⁾, »ist der Aetus des Durchsichtigen, insofern es durchsichtig ist; worin es aber nur potentia ist, da kann auch Finsternis sein. Es ist weder ein Körper, wie dies Empedokles behauptet hat, noch der Ausfluss eines Körpers, sondern es ist die Anwesenheit des Feuers oder eines anderen der Art in dem Durchsichtigen. Denn zwei Körper können nicht zugleich an einem und demselben Orte sein. Die Farbe ist das im Licht Gesehene, weshalb sie auch nicht gesehen wird ohne Licht. Darin aber besteht das eigentliche Wesen der Farbe, dass sie das wirklich Durchsichtige, wie die Luft, in Bewegung setzt. Könnte Jemand etwas, das eine Farbe hat, unmittelbar auf das Auge setzen, so würde er nicht sehen, weil alsdann das Medium zwischen dem gefärbten Körper und dem Gesichts-

1) Ch. Thurot, Recherches historiques sur le principe d'Archimède. Revue archéologique. Nouvelle Série. Tom. 19 et 20. 1868 et 1869.

2) F. Rosenberger, Geschichte der Physik. Braunschw. 1882, I. S. 20.

3) De anima. Lib. II. Cap. 7.

organe fehlen würde, gerade so, wie das Ohr keinen Ton vernehmen könnte, wenn der tönende Körper dies Organ unmittelbar berührte. Demokritos hat daher Unrecht, wenn er sagt: dass man, wenn der Zwischenraum leer wäre, selbst eine Ameise am Himmel deutlich sehen würde. Wäre der Zwischenraum leer, so würde man nicht nur nicht eine Ameise, sondern überhaupt nichts sehen«. Der Ansicht des Empedokles, dass, weil das Auge feuriger Natur sei, das Sehen dadurch zustande komme, dass das Licht vom Auge ausgehe wie von einer Laterne, kann er sich nicht anschließen¹⁾. Wäre dies der Fall, so müssten wir ja auch in der Dunkelheit sehen können. Er nimmt vielmehr mit Demokritos an, dass das Innere des Auges wässerig sei und deshalb durchsichtig sein müsse, weil der Gesichtsnerv sich auf seiner hinteren Seite befinde. Dass diese innere durchsichtige Masse des Auges aber wässriger Natur sei, beweise ja der wässerige Ausfluss, der sich bei Augenkrankheiten zeige²⁾.

So geben uns die Schriften des Aristoteles, obwohl sie fast ausschließlich spekulativer Natur sind, einen guten Überblick über die Leistungen der Griechen vor ihm auf naturwissenschaftlichem Gebiete. Wir sehen, was sie zu seiner Zeit beschäftigte und was sie früher beschäftigt hatte, aber wir sehen auch, dass bis zum in Rede stehenden Zeitpunkte die Spekulation die exakte Naturforschung allzu sehr bei ihnen überwucherte. Diese Verhältnisse änderten sich völlig mit dem Auftreten des Archimedes. Wir wenden uns nunmehr zur Schilderung seiner Arbeiten und deren Ergebnissen.

3. Archimedes.

Tief eingreifend waren in dem Menschenalter zwischen Aristoteles' Tode und Archimedes' Auftreten die Veränderungen, welche die griechische Welt durchmachte. Die politische Selbständigkeit Griechenlands ging unwiederbringlich dahin; im Orient wurde Alexanders des Großen Reich unter seine Feldherren geteilt, im Occident begannen die Kriege, welche die erste Etappe in der Aufrichtung der Weltherrschaft Roms bildeten. Noch aber war des Archimedes' Heimat Syrakus von unabhängigen Fürsten beherrscht, noch leitete die Geschieke Ägyptens der erste in jener langen Reihe der Ptolemäer, welcher der Wissenschaft durch die Stiftung des Museums in Alexandria für Jahrhunderte eine bleibende Stätte sicherte. Mit seiner Selbständigkeit war auch Griechenlands bestimmender Einfluss in der Wissenschaft gebrochen. Es waren wohl noch Griechen, welche sie ausübten, aber die vorwiegend philosophierende Richtung hatte einer anderen Platz gemacht, welche, anstatt nur gelegentlich zu experimentieren, der Beobachtung und dem Experiment die ihnen zukommende grundlegende Bedeutung zuwies und nur die Folgerungen anerkannte, welche deren objektive Betrachtung zu ziehen erlaubte.

1) Aristoteles, Über die Sinne. Kap. II.

2) Wilde, Geschichte der Optik. Berlin 1838. I. S. 7.

Archimedes (287—212 v. Chr.) war den Fürsten von Syrakus verwandt und hat sein Leben in dieser seiner Vaterstadt hingebracht. Wie er bei deren Eroberung durch die Römer seinen Tod fand, so sind auch seine Erfindungen auf technischem Gebiete viel mit ihren Geschicken verknüpft gewesen. Diese Erfindungen aber waren es, die seinen Namen mehr, wie es seine wissenschaftlichen Arbeiten vermocht haben, berühmt machten, ja, es ging ihm wie so vielen anderen Erfindern: die vielzüngige Fama bemächtigte sich seiner und schrieb ihm Leistungen, wie die Schiffe zerstörenden Brennspiegel zu, die damals ebenso unmöglich waren, wie sie es jetzt auch noch sind.

Gerade seine theoretischen Arbeiten gehören aber zu dem Besten, was uns aus dem Altertum überliefert worden ist, nicht obgleich, sondern weil sie von der philosophischen Systembildung absahen. Dafür wurden sie um so fruchtbarer für die Mathematik und Physik. Mit den mathematischen, die bereits die ersten Keime der Infinitesimalrechnung enthalten, haben wir uns hier nicht zu beschäftigen; indem er auf die physikalischen Probleme aber auch die mathematische Betrachtungsweise anwendete, hob er auch diese hoch über die damals übliche Art der Bearbeitung empor.

Zunächst war es die Mechanik der festen und flüssigen Körper, welche er in Angriff nahm, und besonders ist es der Begriff und die Bestimmung des Schwerpunktes gewesen, die ihn eingehend beschäftigte. Solche Betrachtungen bilden den Inhalt seiner »vom Gleichgewichte der Ebenen oder von den Schwerpunkten derselben« handelnden Schrift¹⁾. Er betrachtet in derselben schwere, aber homogene Ebenen, hinsichtlich welcher er folgende Grundsätze aufstellt.

1. »Gleich schwere Größen in gleichen Abständen (vom Unterstützungspunkte) wirkend sind im Gleichgewichte«.

2. »Gleich schwere Größen in ungleichen Abständen wirkend sind nicht im Gleichgewicht, sondern die in der längeren Entfernung wirkende sinkt«.

3. »Wenn einer schweren Größe, die mit einer anderen in gewissen Abständen im Gleichgewicht ist, etwas zugefügt wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewicht, sondern diejenige sinkt, der etwas zugelegt worden ist«.

4. »Gleicherweise, wenn von der einen dieser schweren Größen etwas weggenommen wird, so bleiben sie nicht mehr im Gleichgewichte, sondern diejenige sinkt, von welcher nichts weggenommen ist«.

5. »Wenn gleiche und ähnliche Figuren aufeinander gepasst sind, so treffen auch deren Schwerpunkte aufeinander«.

6. »Die Schwerpunkte ungleicher, jedoch ähnlicher ebener Figuren liegen ähnlich, d. h. die von ihnen nach den Scheiteln der gleichen Winkel gezogenen Linien machen mit den gleichliegenden Seiten gleiche Winkel«.

¹⁾ Archimedes von Syrakus vorhandene Werke. Aus dem Griechischen übersetzt und mit Erläuterungen und kritischen Anmerkungen begleitet von Ernst Nizze. Stralsund 1824.

7. »Wenn Größen in gewissen Abständen im Gleichgewichte sind, so sind ihnen gleiche in denselben Abständen auch im Gleichgewichte«.

8. »Der Schwerpunkt einer jeden Figur, deren Umfang nach einerlei Gegend hohl ist, muss innerhalb der Figur liegen«.

An diese Sätze schließt Archimedes einige andere, durch Versuche ermittelte, an:

1. »Größen, die in gleichen Abständen sich im Gleichgewichte befinden, sind gleich schwer. Wären sie es nicht, so würden sie nach Wegnahme des Gewichtsüberschusses sich im Gleichgewichte befinden müssen, was nicht möglich ist«.

2. »Ungleich schwere Größen sind bei gleichen Abständen nicht im Gleichgewichte, sondern die schwerere wird sinken«.

3. »Wenn ungleich schwere Größen in ungleichen Abständen im Gleichgewichte sind, so befindet sich die schwerere im kleineren Abstände«.

4. »Wenn zwei gleich schwere Größen nicht einerlei Schwerpunkt haben, so liegt der Mittelpunkt der Schwere einer aus diesen beiden zusammengesetzten Größe in der Mitte derjenigen geraden Linie, welche die Schwerpunkte beider Größen verbindet«.

5. »Wenn die Schwerpunkte dreier Größen in einer geraden Linie liegen, auch die Größen selbst gleiches Gewicht haben, und wenn die Zwischenweiten der Schwerpunkte gleich sind, so wird der Schwerpunkt der aus allen dreien zusammengesetzten Größe derjenige Punkt sein, der auch der Schwerpunkt der mittleren Größe ist«.

Diesen Sätzen reiht sich dann die Gleichgewichtsbedingung von Gewichten oder Kräften am Hebel an, welche Archimedes ebenfalls als Erfahrungsgesetz aufstellt und folgendermaßen ausspricht: »Commensurable Größen sind im Gleichgewichte, wenn sie in ihren Entfernungen umgekehrt proportional sind«. Gleichwohl hält er es für nötig, ihn, indem er ihn aus den obigen Grundsätzen herleitet, zu beweisen. Es seien in Fig. 14

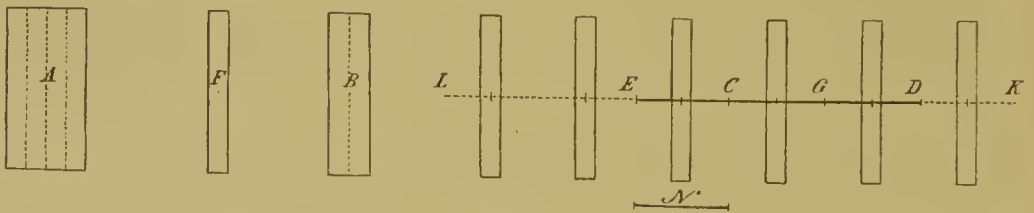


Fig. 14.

die Größen, die ihre Schwerpunkte in A und B haben und die durch die mittels der punktierten Linien hergestellten Teilungen als commensurabel zu erkennen sind, so dass die Größe F der vierte Teil von A und die Hälfte von B ist. Die Größen A und B seien nun aber an dem daeben gezeichneten Hebelarme ED angebracht, der durch den Punkt C so geteilt wird, dass sich $A : B = CD : EC (= 4 : 2)$ verhält. Geteilt sei dieser Arm in die Teile EC , CG und $GD = N$, so dass auf EC B (2) und auf CD

A (4) solcher Teile zu liegen kommen. Verlängert man endlich CD über D bis K um B (2) und über E hinaus bis L um A (4) Teile und bringt in die Mittelpunkte der Teile N sieben Größen F an, so sind diese symmetrisch um C verteilt. C ist also der Schwerpunkt und es findet Gleichgewicht statt, wenn C unterstützt wird. Durch die Größen rechts von E ist aber A , durch die links davon B ersetzt. Sie müssen sich also ebenfalls im Gleichgewichte befinden¹⁾. Auch auf incommensurable Größen hat Archimedes seinen Beweis ausgedehnt, gegen dessen Richtigkeit freilich mancherlei Einwände erhoben worden sind.

Archimedes begnügte sich nicht wie Aristoteles mit der Aufstellung des Hebelproblems, er leitete auch das seine Lösung ermöglichende Gesetz ab, suchte es auch in vielseitigster Weise zu technischer Verwendung zu bringen. Sind es doch nicht weniger wie vierzig verschiedene Erfindungen, welche ihm zugeschrieben werden und von denen die meisten den Hebel benutzen. Einige von ihnen sind noch im Gebrauche, wie der Flaschenzug und die in Fig. 15 dargestellte Schraube ohne Ende, eine Schraube S , in welche ein mit Zähnen versehenes Rad R eingreift. Andere, eine Anzahl Hebe-, Stoß- und Schlendermaschinen waren in der Kriegskunst der Alten von Bedeutung und erwarben sich namentlich durch die großen Schwierigkeiten, die sie den Römern bei der Belagerung von Syrakus bereiteten, einen ans Sagenhafte grenzenden Ruhm. Wenn Plutarch²⁾ recht berichtet ist, so hat sich der große Syrakusaner gerade um ihrer Konstruktion willen mit den technischen Anwendungen seiner gefundenen Sätze beschäftigt. Nur durch dringende Bitten des Königs Hiero hat er sich jenem Gewährsmann zuzufolge überreden lassen, »seine Kunst von bloß intellektuellen Dingen auf körperliche zu übertragen, die Theorie gewissermaßen durch die Sinne mit den täglichen Bedürfnissen zu vermischen und somit dem großen Haufen deutlicher und verständlicher zu machen«.

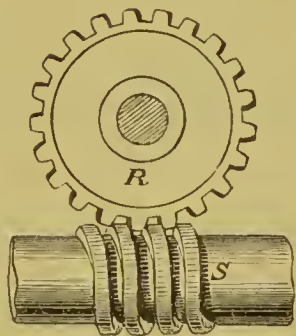


Fig. 15.

»Endoxus und Archytas«, erzählt Plutarch weiter, »waren nämlich die ersten, welche diese beliebte Maschinenkunst aufbrachten, um der Geometrie eine angenehme Mannigfaltigkeit zu geben und solchen Problemen, die eines rationellen und gründlichen Beweises nicht fähig sind, durch sinnliche und organische Beispiele zu Hilfe zu kommen³⁾. So wendeten Beide das Problem von zwei mittleren Proportionallinien, jenes vielen Rissen notwendige Element, auf organische Vorrichtungen an, indem sie

1) A. Täschner, Die allgemeinen Principien der Statik. Breslau 1872. S. 6.

2) Plutarchs vergleichende Lebensbeschreibungen. Übersetzt von J. Fr. S. Kaltwasser. Magdeburg 1799—1806. Kap. 14—18.

3) Die darüber noch erhaltenen Berichte sind so sagenhaft und bis zur Unmöglichkeit übertrieben, dass ihnen ein geschichtlicher Wert nicht zukommt.

gewisse Instrumente, die Mesolabien hießen, nach krummen Linien und Schnitten bildeten. Da aber Plato sich darüber ereiferte und ihnen vorwarf, dass sie die Würde der Geometrie ganz vernichteten, wenn diese vom Unkörperlichen und Intellektuellen zum Sinnlichen herabsinken und sich wieder an einen Körper halten sollte, der so viele lästige, handwerksmäßige Arbeit erforderte, so wurde nun die Mechanik von der Geometrie gänzlich ausgeschlossen, auch eine geraume Zeit von der Philosophie verachtet und bloß als eine für das Kriegswesen gehörige Kunst angesehen«.

»Demungeachtet schrieb einst Archimedes an den König Hiero, dessen Freund und Verwandter er war, dass man mit der gegebenen Kraft jede gegebene Last bewegen könne; ja, im stolzen Vertrauen auf die Stärke seines Beweises soll er sogar behauptet haben, er wolle selbst diese Erde fortbewegen, wenn er nur eine andere hätte, auf die er treten könnte¹⁾. Als Hiero sich darüber verwunderte und ihn ersuchte, dies Problem ins Werk zu setzen und ihm zu zeigen, wie eine große Last mit einer kleinen Kraft bewegt würde, ließ er ein königliches Frachtschiff, dass nur mit großer Mühe und vielen Händen ans Land gezogen war, mit einer Menge Menschen und der gewöhnlichen Fracht beladen, setzte sich dann in einiger Entfernung nieder und bewegte langsam und ohne Anstrengung mit der Hand das eine Ende eines Flaschenzuges, womit er das Schiff ohne den geringsten Anstoß so sanft nach sich hinzog, als wenn es über das Meer glitt. Der König, der darüber staunte und die außerordentliche Wirkung dieser Kunst einsah, beredete den Archimedes, ihm allerhand Belagerungsmaschinen, sowohl zum Angriff als zur Verteidigung, zu verfertigen. Von diesen machte er selbst zwar keinen Gebrauch, da er den größten Teil seines Lebens ohne Krieg in einer glücklichen Ruhe hinbrachte; jetzt aber leistete diese Zuriistung und mit ihr der Verfertiger selbst den Syrakusanern herrliche Dienste«.

Umgekehrt, wie mit seinen Arbeiten über die festen Körper, bei denen er theoretische Sätze zu Grunde legte, ging es, den Überlieferungen der Alten nach, Archimedes mit der Entdeckung des wichtigen Satzes über die flüssigen, welcher noch heute nach ihm genannt wird. Auf sie soll ihn ein Auftrag, den ihm König Hiero gab, geführt haben.

»Von all den vielen wunderbaren und mannigfachen, wohl auch unendlich sinnreichen Entdeckungen des Archimedes«, so erzählt uns der Baumeister des Kaisers Augustus, Vitruv²⁾, die Begebenheit, »will ich nur die anführen, welche auf eine überaus kluge Weise gewonnen sein dürfte. Als nämlich Hiero, nachdem er zu königlicher Macht erhoben worden war, für seine glücklichen Thaten einen goldenen Kranz, wie er gelobt hatte, in irgend einem Heiligtume weihen wollte, ließ er diesen gegen Arbeits-

1) *Δός μοι ποῦ σιῶ καὶ συνήσω τὴν γῆν* sind die bekannten Worte, welche man Archimedes in den Mund legte.

2) Vitruvius Pollio, Zehn Bücher über die Baukunst. Übersetzt und durch Anmerkungen und Risse erläutert von Franz Reber. Stuttgart 1865. IX. Buch. 9. Kap.

lohn fertigen und wog das dazu nötige Gold dem Unternehmer genau vor. Dieser lieferte seiner Zeit das zur vollen Zufriedenheit des Königs gefertigte Werk ab und auch das Gewicht des Kranzes schien genau zu entsprechen«.

»Als aber später Anzeige gemacht wurde, es sei Gold untersehlagen und dafür ebenso viel Silber beigemischt worden, da beauftragte Hiero, aufgebracht darüber, hintergangen worden zu sein, ohne einen Weg finden zu können, jene Untersehlung zu erweisen, den Archimedes, die Aufindung eines solchen Überführungsweges auf sich zu nehmen. Dieser, eifrig damit beschäftigt, kam nun zufällig in ein Bad, und als er dort in die Wanne hinabstieg, bemerkte er, dass das Wasser in gleichem Maße über die Wanne austrat, indem er seinen Körper mehr und mehr in dieselbe niederließ. Sobald er auf den Grund dieser Ersehnung gekommen war, verweilte er nicht länger, sondern sprang, von Freude getrieben, aus der Wanne und, nackt seinem Hause zuwendend, rief er mit lauter Stimme: er habe gefunden, was er suche. Denn im Laufe rief er griechisch aus: εὕρηκα, εὕρηκα (ieh habe es gefunden)!«

»Dann soll er, von jener Entdeckung ausgehend, zwei Klumpen von demselben Gewichte, wie es der Kranz hatte, den einen von Gold, den anderen von Silber, zusammengestellt haben. Nachdem er dies gethan hatte, füllte er ein weites Gefäß bis an den obersten Rand mit Wasser und senkte dann den Silberklumpen hinein, worauf das Wasser in gleichem Maße ansfloss, als der Klumpen allmählich in das Gefäß getaucht wurde. Nachdem dann der Klumpen wieder herausgenommen war, füllte er das Wasser um so viel, als es weniger geworden war, das neu zugegebene mit einem Sextar messend, wieder auf, so dass es in gleicher Weise, wie früher, mit dem Rande in gleiche Höhe kam. So fand er daraus, welches Gewicht Silber einem bestimmten Volumen Wasser entspräche. Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er den Goldklumpen in ähnlicher Weise in das volle Gefäß, und als er auch diesen herausgenommen, fand er, nachdem er das fehlende Wasser auf dieselbe Weise mittelst eines Hohlmaßes nachgefüllt hatte, dass nun von dem Wasser nicht soviel abgeflossen war, sondern um so viel weniger, als ein Goldklumpen von gewissem Gewichte ein minder großes Volumen hat, wie ein Silberklumpen von demselben Gewichte. Nachdem er hierauf das Gefäß abermals gefüllt und den Kranz selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, dass mehr Wasser bei dem Kranze als bei dem gleich wiegenden Goldklumpen abfloss und entzifferte so aus dem, was mehr bei dem Kranze als bei dem Goldklumpen abfloss, die Beimischung des Silbers zum Golde und machte die Untersehlung des Unternehmers offenbar«.

Die so gemachten Erfahrungen fasste Archimedes dann in den folgenden Sätzen zusammen¹⁾:

1, Archimedes von Syrakus vorhandene Werke. Von den schwimmenden Körpern. 1. Buch.

1. »Feste Körper, die bei gleichem Rauminhalte einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken, in diese eingetaucht, so weit, dass nichts von ihnen aus der Oberfläche der Flüssigkeit hervorragt; tiefer aber sinken sie nicht«.

2. »Jeder feste Körper, der, leichter als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht wird, sinkt so tief ein, dass die Masse der Flüssigkeit, welche so groß ist als der eingesunkene Teil, ebensoviel wiegt, wie der ganze Körper«.

3. »Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer so großen Kraft, wie eine Masse Flüssigkeit von der Größe des Körpers schwerer ist als der Körper selbst«.

4. »Feste Körper, welche, schwerer als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, sinken, so lange sie noch tiefer kommen können, und werden in der Flüssigkeit um so leichter, als das Gewicht einer Masse Flüssigkeit von der Größe der eingetauchten Körper beträgt«.

5. »Die Oberfläche einer jeden zusammenhängenden Flüssigkeit im Zustande der Ruhe ist sphärisch, und der Mittelpunkt ihrer Kugel ist einerlei mit dem Mittelpunkte der Erde«.

Kommt bei dem letzten Satze bereits die von Archimedes aufgestellte Lehre vom Schwerpunkte in Anwendung, so ist dies in noch höherem Maße der Fall bei seiner Betrachtung der schwimmenden Körper. In seiner von diesen handelnden Schrift setzt der Syrakusaner voraus, »dass jeder Körper, der in einer Flüssigkeit aufwärts steigt, hierbei dem durch den Schwerpunkt des Körpers geführten Perpendikel folgt. Wenn ein Körper, der leichter als eine Flüssigkeit ist und die Gestalt eines Kugelabschnittes hat, so in die Flüssigkeit getaucht wird, dass die Grundfläche des Abschnittes die Flüssigkeit nicht berührt, so wird der Abschnitt senkrecht schwimmen, dergestalt nämlich, dass die Achse desselben senkrecht steht. Und wenn der Abschnitt auf irgend eine Weise so geneigt wird, dass die Grundfläche die Flüssigkeit berührt, so bleibt er nicht so, nachdem er eingetaucht ist, sondern nimmt wieder die senkrechte Lage ein«. Ob Archimedes auch diese Sätze bewiesen hat, wissen wir nicht, aufbewahrt ist uns ein solcher Beweis nicht.

Erwähnt sei endlich noch der Apparat, den er zum Heben des Wassers angab, die Wasserschraube oder die archimedische Schnecke, die Fig. 16 darstellt¹⁾. Durch ihre Drehung hebt sie das im Schraubengange immer nach unten fließende Wasser bis zu dem oberen Ausgangspunkte. Wenn die Maschine dem Zwecke, zu welchem sie bestimmt war, jetzt wohl nur noch selten dient, so findet man sie um so häufiger als Vorrichtung, um gemahlene Körper, Mehl, Kainit u. s. w. fortzubewegen, im Gebrauche.

Ebensowenig, wie es Archimedes gelungen ist, den Begriff des Metazentrums bei schwimmenden Körpern zu finden, hat er sich nicht bis zu

1) Terquem, La science romaine. Paris 1885. Fig. 11.

dem des spezifischen Gewichtes durchgearbeitet. Der letztere folgt aber so unmittelbar aus dem des Archimedischen Prinzips, dass man als selbstverständlich annahm, dessen Entdecker müsse auch ihn aufgestellt haben. Indessen finden wir ihn in diesen allerdings nur mangelhaft erhaltenen Schriften nirgends formuliert. So lange man annahm, dass das Aräometer eine Erfindung des großen Mechanikers sei, musste man ihm auch die Aufstellung jenes Begriffes zuschreiben. Wie später gezeigt werden wird, ist aber das Aräometer eine viel spätere Erfindung, von der nicht Schlüsse auf Archimedes' Arbeiten zu ziehen sind.

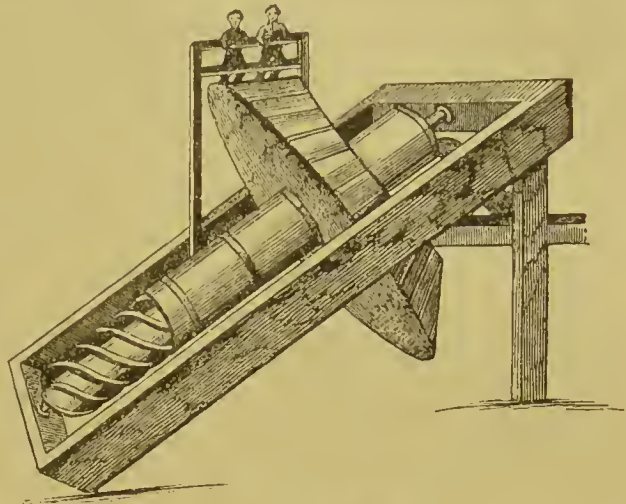


Fig. 16.

Dass Archimedes auch in den übrigen Teilen der Physik wohl bewandert war, wenn auch seine auf uns gekommenen Schriften darüber wenig enthalten, dürfen wir dagegen annehmen. Dass er die Brennspiegel und ihre Wirkungen besser kannte, wie uns seine übertreibenden Epigonen glauben machen wollten, ist wohl gewiss. Auch wusste er, dass ein am Boden eines etwas Wasser enthaltenden Gefäßes liegender Ring, der bei einer bestimmten Stellung des Beobachters nicht sichtbar ist, gesehen werden kann, wenn mehr Wasser in das Gefäß gegossen wird. Berühmt war auch ein Himmelsglobus, den Archimedes gefertigt hatte. Nach Hultsch¹⁾ war es aber nur ein hydraulisch bewegter Mechanismus zur Veranschaulichung der Stellung der Planeten.

4. Die älteren Alexandriner.

Die weitsehweilige und gründliche Art, mit der Archimedes den mathematischen Teil seiner Untersuchungen behandelt, kommt mit derjenigen überein, welcher man in älteren deutschen und auch jetzt noch in den englischen Lehrbüchern der Anfangsgründe der Geometrie und Algebra begegnet. Jahrtausende hindurch ist diese Darstellungsweise unverändert geblieben, nachdem sie von dem Zeitgenossen, vielleicht auch Landsmanne des Archimedes, von Enkleides (geb. um 300 v. Chr.), dem ältesten in der Reihe der Alexandrinischen Gelehrten, eingeführt wurde, und erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat man sich in Deutschland mehr oder weniger von ihr losgesagt. Ist bei ihrer Ausarbeitung Enkleides von Archimedes beeinflusst worden, so stünde dieser Fall als einziger

1) Hultsch, Schlömilch. Zeitschrift f. Mathematik u. Physik. Bd. 22. H.—J. A. S. 106 ff.

da. Denn von Schülern des großen Syrakusaners wird nichts berichtet. Die politischen Verhältnisse seiner Vaterstadt waren dazu nicht angethan. Um so günstiger lagen sie für die Bildung einer Schule in Ägypten, welches in dem Miterben des Reiches Alexanders des Großen, in Ptolemaios Lagi, einen Fürsten, der die Wissenschaft übte und nach Kräften förderte, erhalten hatte. Gab er doch in dem bereits erwähnten, in seiner Hauptstadt gegründeten Museum mit seiner reichen Bibliothek, die erst nach Jahrhunderte langem Bestehen den anstürmenden Arabern zum Opfer fiel, den Gelehrten einen Mittelpunkt, der bald die Erbschaft der Griechen übernahm und weiterführte. Namentlich waren es neben Eukleides der aus Askra in Ägypten gebürtige Ktesibios (um 200 v. Chr.) und seine Schüler Heron aus Alexandrien und Philon aus Byzanz, die den Ruhm des Museums begründeten. Aber deren Schriften sind im Originale nicht auf uns gekommen, wir kennen sie nur aus römischen und arabischen Übersetzungen. Von Ktesibios' Schriften ist überhaupt nichts mehr vorhanden, die bei weitem meisten Nachrichten über ihn verdanken wir Heron. Hinsichtlich dieses tritt uns aber die große Schwierigkeit entgegen, dass weder die Zeit, in der er lebte, feststeht, noch der authentische Text seiner Werke über jeden Zweifel erhaben ist. Ja, auch die Autorschaft der Heronischen Werke ist unsicher. Da nun gerade sie wegen der großen Menge von Experimenten und Apparaten für uns von hervorragender Bedeutung sind, so wird es nötig sein, den Stand der auf ihn bezüglichen Fragen kurz zu beleuchten. Susemihl¹⁾ setzt die Lebenszeit Herons in das 3. und den Anfang des 2. Jahrhunderts v. Chr., M. Cantor²⁾ um den Anfang, Martin³⁾ um die Mitte des 1. Jahrhunderts, H. Diels⁴⁾ und W. Schmidt⁵⁾ in den Anfang unserer Zeitrechnung, Tannery⁶⁾ in das 2. Jahrhundert n. Chr. und Carra de Vaux⁷⁾ sogar in das 3. Jahrhundert n. Chr. Ausschlaggebend möchte hier F. Hultschs⁸⁾ Ansicht sein, der

1) Susemihl, Geschichte der griechischen Litteratur in der Alexandrinischen Zeit. Leipzig 1891. Bd. 1. S. 736, 746.

2) M. Cantor, Vorlesungen über Geschichte der Mathematik. Leipzig 1894.

3) Th. H. Martin, Recherches sur la vie et les ouvrages d'Héron d'Alexandria disciple de Ktésibios et sur tout les ouvrages mathématiques grecs conservés ou perdus, publiés ou inédits qui ont été attribués à un auteur nommé Héron. Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des inscriptions et belles lettres 1851.

4) H. Diels, Über das physikalische System des Straton. Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissensch. 1893.

5) W. Schmidt, Das Prooemium der Pneumatik des Heron von Alexandrien. Gymnasialprogramm. Braunschweig 1894.

6) Tannery, Über die Veröffentlichung »Codex Leidensis« 399, 1 von Besthorn und Heiberg. Bulletin des sciences mathématiques 1893. S. 315.

7) Carra de Vaux, Les mécaniques ou l'élévateur de Héron d'Alexandrie, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ Ibn Lûgâ et traduites en Français. Extrait du Journal asiatique. 1894.

8) F. Hultsch, Recension von Cantors Geschichte der Mathematik im Litterarischen Centralblatt. 1894. S. 554.

sich auch über die Frage nach der Echtheit der Werke unseres Autors ausführlich ausspricht: »Somit wäre ja von den fünf Jahrhunderten zwischen Archimedes und Pappos«, sagt er, »die für die Epoche Herons offen stehen, auch das vierte vermutungsweise besetzt. Hier heißt es zunächst abwarten, bis die vollständige Übersetzung der Heronischen Mechanik vorliegen wird, dann aber die Frage in ihrem gesamten Umfange wieder aufnehmen und den Autor der von Vitruv und von den römischen Geometern und Grammatikern benutzten griechischen Werke über Mechanik und praktische Geometrie aufsuchen. Das wird kein anderer als Heron sein, der vor Vitruv gelebt hat. Die bis auf unsere Zeit gekommenen Texte sind echt, insofern sie den Autornamen und in der Hauptsache auch die ursprüngliche Anlage und Gestaltung der Heronischen Werke bewahrt haben, unecht aber insofern, als sie im stetigen Dienste der Praxis zu wiederholten Malen neu aufgelegt und dabei je nach den Zeitbedürfnissen überarbeitet worden sind. Selbstverständlich hat der arabische Übersetzer der Mechanik eine solche Neubearbeitung benutzt, jene älteren Texte, die einst Vitruv und den Grammatikern vorgelegen haben, waren im Mittelalter ebensowenig noch vorhanden, wie heutigen Tages«. Gestützt auf die genaue Prüfung der von Heron stammenden Rechenbücher und Maßtafeln, sowie auf die Bearbeitung eines Teiles der Heronischen Geometrie durch Balbus um 100 n. Chr., setzt Hultsch des Alexandriners Lebenszeit an das Ende des 2. Jahrhunderts v. Chr.¹⁾

Diejenigen der Schriften Herons, auf welche wir hier einzugehen haben, behandeln die Mechanik, Pneumatik, Optik und Feldmesskunst, und sind als Kompendien für seine Zuhörer geschrieben. Er habe, sagt er am Schlusse des ersten Buches seiner Mechanik, das zusammen gestellt, was andere vor ihm ausgedacht hätten und nur die Gesetze erläutert, die für Anfänger von Wichtigkeit seien, sein Buch genüge daher zur ersten Einführung in die mechanischen Künste. Im vierten Buche spricht er sich noch eingehender über diesen Zweck seiner Arbeiten aus. »Es ist nötig«, sagt er dort²⁾, »dass die, welche die Bekanntschaft mit der mechanischen Kunst machen wollen, wissen, welche Ursachen bei jeder Bewegung thätig sind, und es ist wichtig, dass den Studierenden nichts ohne Beweis dargeboten werde und nichts für sie ein Gegenstand des Zweifels bleibe; jedes Problem, das ihnen vorgelegt wird, soll in unserer Darstellung seine Auflösung finden. Wir erinnern deshalb an verschiedene Prinzipien, die schon die Alten gelehrt haben und die sich auf unseren Gegenstand beziehen«. Indessen giebt er die Quellen, aus denen er geschöpft hat, nirgends an. Nur Archimedes erwähnt er einige Male, während er seine Mechanik so

1) Hultschs Rezension von Victor Mortet, la mesure des colonnes à la fin de l'époque romaine d'après un très ancien formulaire. Extrait de la Bibliothèque de l'école des chartes, année 1896. T. 57. Paris 1896; in der Berliner Philologischen Wochenschrift. Februar. 1898. S. 170.

2) Carra de Vaux, a. a. O. S. 142.

genau nach dem Vorbilde der »mechanischen Probleme« des Aristoteles vorträgt, dass einige der seinigen mit denen des Stagiriten genau übereinstimmen.

Von Philon sind uns Bruchstücke aus einem großen Werke erhalten, das eine Eneyklopädie der damaligen Ingenieurwissenschaften unter dem Titel »Syntaxis mechanica« war, und ebensolche aus einer für seinen Freund Ariston verfassten Schrift, welche sich auf die Pneumatik bezog¹⁾, diese aber nur in einer aus dem 12. Jahrhundert stammenden lateinischen Übersetzung, der eine ältere arabische zu grunde liegt.

So enthalten die Schriften Herons und Philons neben eigenen auch Versuche und Apparate anderer, namentlich des Ktesibios, auf welchen indessen nur eine geringe Zahl mit Sicherheit zurückzuführen ist. Neben ihm sind noch als Quelle die Aufzeichnungen des griechischen Ingenieurs Athenaios²⁾ (um 200 v. Chr.) über Kriegsmaschinen und das aus dem Anfange unserer Zeitrechnung stammende Vitruv über Architektur anzuführen. Namentlich aus dem letzteren erhalten wir einen Überblick über die Apparate und Maschinen, wie sie zu seiner Zeit in Benutzung waren, wobei freilich die Möglichkeit im Auge zu behalten ist, dass Vitruv Apparate oder Verbesserungen aus späterer Zeit jenen zurechnet.

Nachdem wir so die Zuverlässigkeit der Quellenschriften geprüft haben, wenden wir uns zur Mitteilung ihres Inhaltes. Auf die beschriebenen Apparate und Maschinen können wir Platons Wort anwenden: sie enthalten »Scherz und Ernst gemischt nach bestem Vermögen«. Da finden wir solche von so großer praktischer Wichtigkeit, wie die Feuerspritze, neben einer Menge von physikalischen Spielereien, von denen sich aber nicht wenige bis auf unsere Tage erhalten haben und in älteren und neueren, der Unterhaltung gewidmeten Büchern, immer wieder vorgeführt werden. Während Ktesibios solche Spielereien an seinen Wasseruhren anbrachte, mussten bei Heron hauptsächlich die Spiegel und wie auch bei Philon der Heber herhalten.

Ktesibios stellte nach dem Zeugnis des Vitruv Wasseruhren oder Klepsydren nach dem Muster der babylonischen her, die jene aber an Genauigkeit dadurch weitaus übertrafen, dass die Ausflussöffnung der Unveränderlichkeit wegen in Gold oder in einen Edelstein gebohrt war. Das ausfließende Wasser fiel in ein Gefäß, in dem es sich sammelnd einen Schwimmer und mit ihm eine daran befestigte Zahnstange immer mehr hob. Indem diese in ein Zahnrad eingriff, bewegte sie einen auf dessen Achse befestigten Zeiger vor einem Zifferblatte, welches die Stunden ablesen ließ.

1) A. de Rochas, La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité. Paris 1882. S. 157 ff.

2) Veterum Mathematicorum (Athenaei, Bitonis, Apollodori, Heronis, Philonis et aliorum) opera. Ex manuscriptis codicibus Bibliothecae Regiae. Parisiis 1693. S. 1 bis 12.

Die Stunden aber wurden, wie bei den Babyloniern, durch Einteilung der Zeit vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang gerechnet und waren somit im Sommer länger wie im Winter. Deshalb waren die Wasseruhren so eingerichtet, dass man sie mit verschiedenen weiten Ausflussöffnungen versehen konnte. »Andere, mit diesen Wasseruhren in Verbindung stehende Zahnräder«, berichtet Vitruv, »bewirkten durch ihre Drehung verschiedene Bewegungen, nach denen sich Figuren bewegen, Kegelsäulen sich drehen, Kügelchen oder Eier fallen, Blasinstrumente ertönen und andere Nebendinge mehr«. So konnten freilich neben dem erregten Vergnügen an diesen hübschen Säckelehen auch die Stunden durch eine Klangwirkung angegeben werden. Genau gingen diese Uhren allerdings nicht. Von anderen Apparaten erzählt Vitruv, »durch die ebenfalls mit Wasser, und zwar vermittelt der durch Druck komprimierten Luft der Natur abgetauschte Wirkungen erzielt werden konnten, wie z. B. durch ein Wasserwerk hervorgebrachte Stimmen von Amseln« u. s. w.

Eine Reihe der Anwendungen des Hebers, wie sie Heron zu ähnlichen Zwecken benutzte, führen die Fig. 17 bis 25 vor. Sie sind ohne weitere

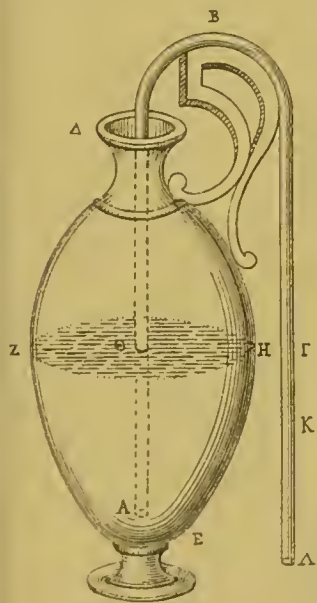


Fig. 17.

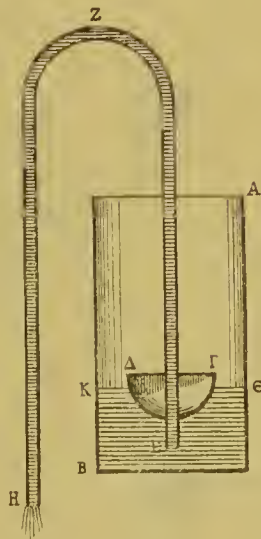


Fig. 18.

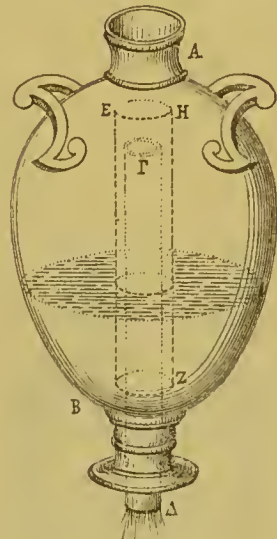


Fig. 19.

Beschreibung verständlich und der Leser wird manchen alten Bekannten darunter finden. Doch sei hier besonders hervorgehoben, dass die von Heron seinen Schriften beigegebenen Figuren nicht auf uns gekommen sind. Sie wurden nach seiner Beschreibung von deren Herausgebern rekonstruiert.

Die Spiegel finden wir zunächst als Spionspiegel verwendet. Diese Anwendung bildet den Inhalt des siebenten Problems der Heronischen Katoptrik, welche sich die Lösung der Aufgabe, »das, was an einer

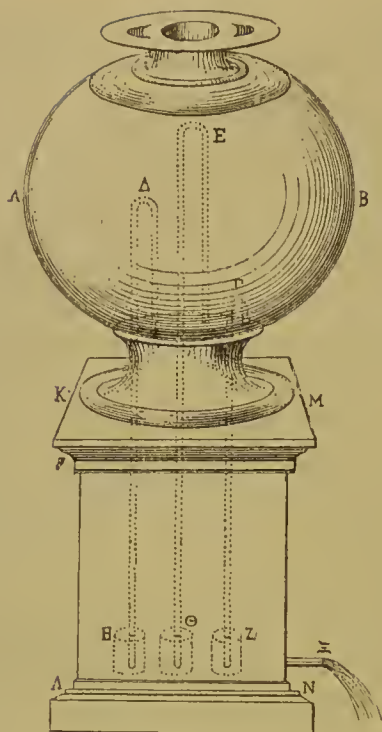


Fig. 20.

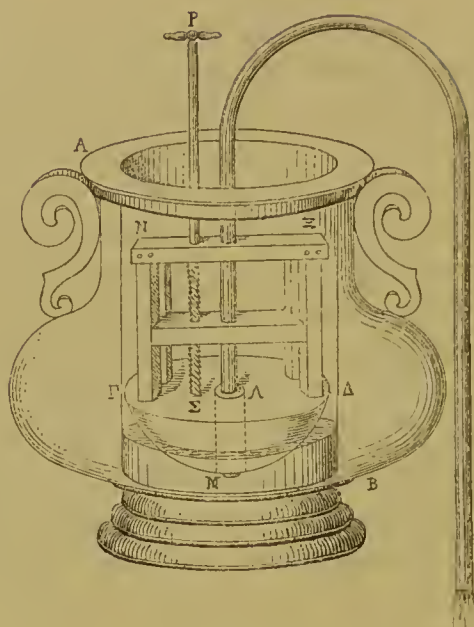


Fig. 21.

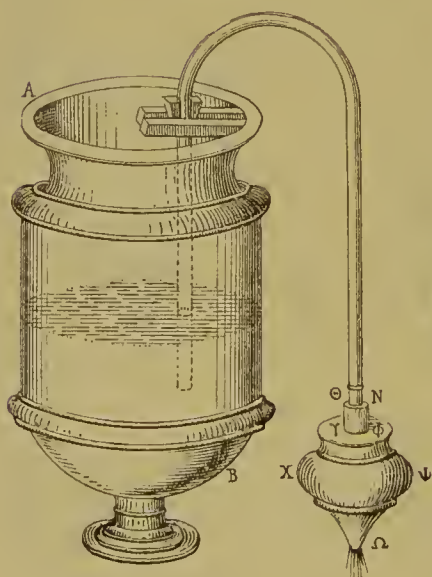


Fig. 22.

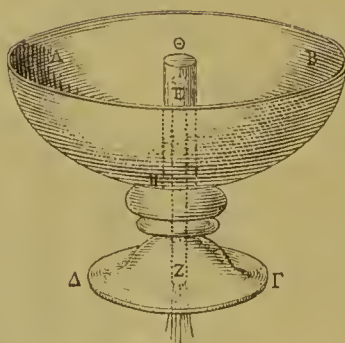


Fig. 23.

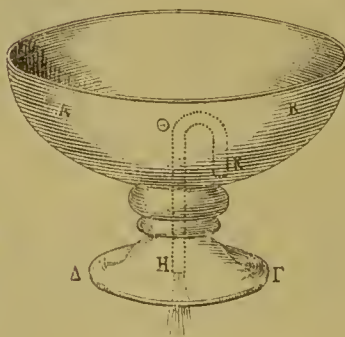


Fig. 24.

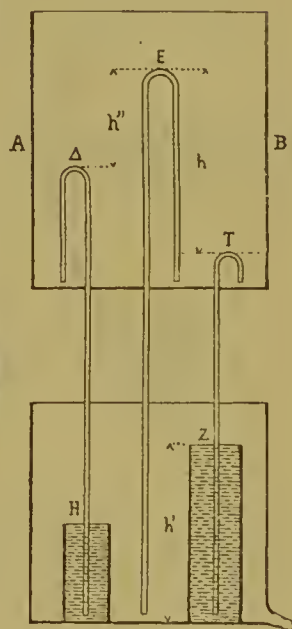


Fig. 25.

Straßenecke oder auf einem Platze vorgeht, zu sehen«, stellt und sie folgendermaßen löst. »Es sei *a* (Fig. 26) der Ort, von wo der Beobachter in den Spiegel sehen will, *g* eine Stelle in der Mitte des Fensters einer

Wohnung« (in die man ungesehen sehen will). »Man verlängere bg bis zum Punkte d an x einer Maner, verbinde d mit a und halbiere den Winkel bda durch de , dann stelle man in d den Mittelpunkt eines Planspiegels so auf, dass de senkrecht auf der Ebene des Spiegels steht. Die Teilung des Winkels kann auch so geschehen, dass die Strecken ge und ae den anliegenden Seiten gd und ad proportional sind«. Dann kann man von a aus im Spiegel sehen, was in der Richtung dg geschieht. Auch kann man den Spiegel um die Achse hx drehbar aufstellen. Die Benutzung eines Spiegels, in derselben Weise, wie er jetzt noch zur Vortäuschung von Geistererscheinungen auf der Bühne im Gebrauche steht, bildet den Inhalt des neunten Problems. »Ein ebener Spiegel ist gegen den Horizont so geneigt, dass das Auge des Beobachters das Bild eines unter dem Boden verborgenen Objektes sieht, während das Bild des Zuschauers, das dort unten hingeworfen wird, von ihm selbst nicht gesehen wird und dadurch der Gedanke nicht in ihm aufkommen kann, als habe er einen Spiegel vor sich«. Die Täuschung wird noch vollkommener, wenn zugleich die hinter dem Spiegel liegenden Gegenstände gesehen werden können.

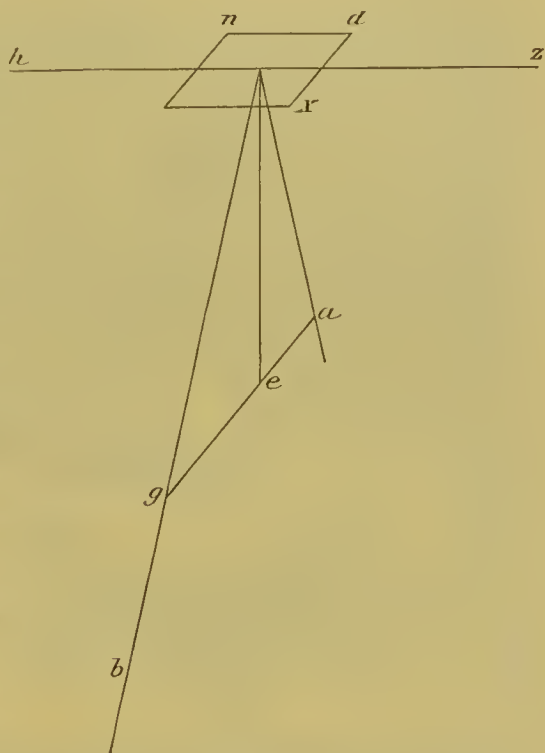


Fig. 26.

Auch der Cylinderspiegel muss herhalten, das *μωρόν κάτοπτρον*, in dem das Gesicht des Beschauers einen einfältigen Ausdruck annimmt. Es bildet den Inhalt des vierten Problems und zeigt sich in Fig. 27, S. 38. Den übrigen Problemen liegt die Anwendung von Winkelspiegeln zu Grunde. Heron macht darauf aufmerksam, dass in einem solchen infolge der zweimaligen Reflexion die rechte Seite des Gegenstandes auch im Bilde als solche erscheine, und indem er zwei unter einem rechten Winkel zusammen stoßen ließ und um eine horizontale Achse drehbar machte, davor aber eine Figur des Zeus so aufstellte, dass ihr Bild ganz unten im oberen Spiegel, eine andere der Pallas so, dass sie an derselben Stelle nach Drehung des Apparates im unteren Spiegel erschien, führte er seinen erstaunten Zuseher den etwas ungewöhnlichen Vorgang der Geburt der Pallas aus dem Haupte des Zeus vor Augen. Durch dieselbe Spiegelverbindung ermöglichte er es dann, wovon das sechste Problem handelt, dass sich der Beschauer zugleich von vorn und von hinten im Spiegel sah.

Die wenigen allgemeinen Bemerkungen über das Licht bezeichnen die Kenntnisse, die man zu seiner Zeit davon hatte. Da diese aber allgemein bekannt seien, meint er, so wende er sich der Katoptrik zu, die wunderbare Spekulationen zulasse.

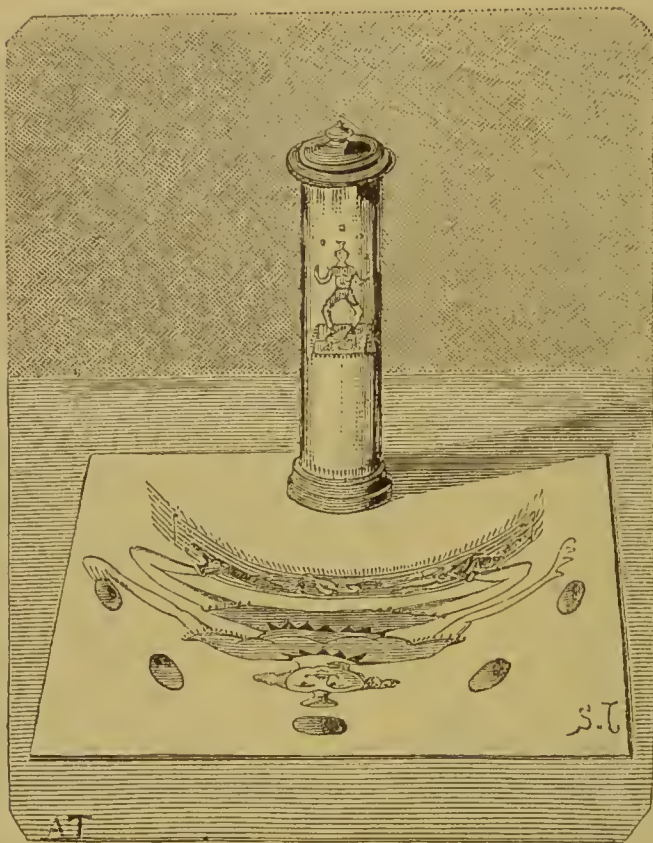


Fig. 27.

Für uns ist diese Einleitung dagegen von größerer Bedeutung. Danach stammen die Lichtstrahlen aus dem Auge und bilden gerade Linien, weil jeder geschlenderte Gegenstand geneigt ist, den kürzesten Weg einzuschlagen. Ihre Geschwindigkeit ist unendlich groß; von einem dichten polierten Körper prallen sie so zurück, dass der Einfallswinkel dem Ausfallswinkel gleich ist, einerlei, ob der Spiegel eben oder sphärisch ist. In einen undurchsichtigen Körper dagegen dringen sie ein.

Die Untersuchungen über das Wesen der Luft, die nach anderer Seite hin von Philon fortgeführt

werden, bilden die Einleitung zu Herons *Πνευματικά*. Er gehöre zwar nicht, meint er dort, zu jenen, welche an keinen leeren Raum glaubten, doch gäbe es keine zusammenhängende Leere, also z. B. kein leeres Gefäß. Ein solches enthalte vielmehr Luft, die übersehen werde, da sie aus unsichtbaren, leichten Teilchen bestehe. »Wenn wir Wasser in ein Gefäß gießen, das leer zu sein scheint, so wird die Luft in dem Maße ausströmen, als das Wasser eintritt. Wenn man ein leeres Gefäß senkrecht mit nach unten gerichteter Öffnung in Wasser taucht, so wird dieses nicht eintreten. Hieraus folgt, dass die Luft ein Körper ist, der den Raum des ganzen Gefäßes einnimmt und dem Wasser den Eintritt in dasselbe nicht gestattet. Erst wenn man den Boden des Gefäßes durchstößt, dringt Wasser hinein und die Luft entweicht durch das Loch. Wenn wir das Gefäß heben, bevor wir den Boden durchbohrt haben, so bemerken wir, dass die innere Wand nicht vom Wasser benetzt ist. Also ist auch damit nachgewiesen, dass die Luft ein Körper ist«.

Diese Betrachtungen führen Heron auf die Herstellung der in den Fig. 28 und 29 dargestellten Apparate, die mit freien oberen Öffnungen

Γ und Θ , K mit dem durchlöchernten unten befindlichen Boden, in Wasser getaucht, sich füllen, herausgehoben das Wasser aber nicht auslaufen lassen, so lange man mit dem Finger die oberen Öffnungen verschlossen hält. Erst wenn man sie frei giebt, fließt das Wasser aus; der Leser hat den Apparat wohl als Beeher der Vestalin in dem einen oder anderen älteren physikalischen Kabinet gesehen.

»Die Lufttheilchen berühren einander«, heißt es dann weiter, »ohne jedoch fest verbunden zu sein; zwischen ihnen befinden sich leere Räume, wie es bei den Sandkörnern am Ufer des Meeres der Fall ist. Man kann sich vorstellen, dass die Sandkörner den Molekülen der Luft entsprechen und dass die Luft, die sich zwischen den Sandkörnern befindet, den leeren Zwischenräumen zwischen den Luftmolekülen entspricht. Daher kann die Luft durch Druck zusammen gepresst werden; sobald aber der Druck aufhört, kehren die Theilchen in ihre normale Lage zurück infolge der den Körpern eigenen Elastizität. Sie verhalten sich also wie ein Schwamm, der sich zusammendrücken lässt und nach dem Aufhören des Druckes sein früheres Volumen wieder einnimmt. Es entsteht auch eine vorübergehende Leere; denn wenn man aus einem Gefäße mit enger Öffnung mit dem Munde die Luft aussaugt, bleibt das Gefäß an den Lippen hängen. In ähnlicher Weise wirken die Schröpfköpfe, indem das hineingebrachte Feuer die Luft verzehrt; auch Wasser wird durch das Feuer verzehrt und dabei in Luft verwandelt«.

Diese Sätze geben Veranlassung zur Herstellung weiterer Apparate. So stellt Fig. 30 eine Pumpe zur Absaugung von Eiter dar, Fig. 31 einen Schröpfkopf mit Pumpen. »welcher saugt, ohne Mitwirkung des Feuers«,

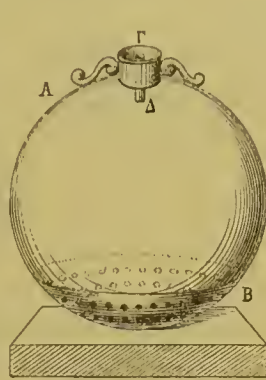


Fig. 28.

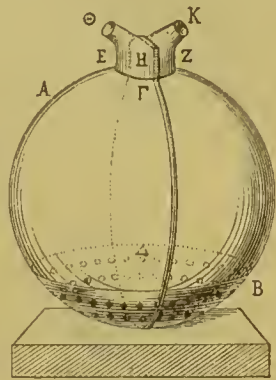


Fig. 29.

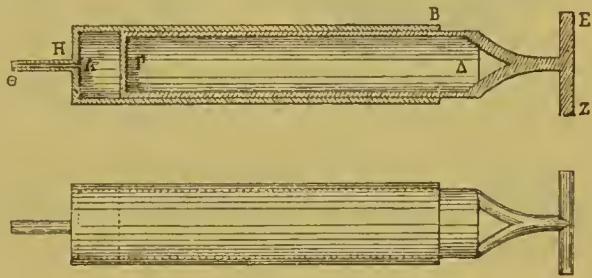


Fig. 30.

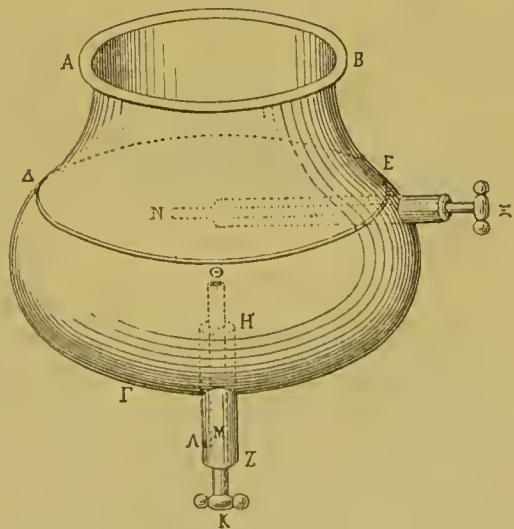


Fig. 31.

Fig. 32 und 33 zeigen dagegen die Wirkung des Feuers auf Wasser; jene die durch den aus dem Topfe dringenden Dampfstrahl emporgeworfene Dampfkugel, diese die durch den Rückstoß des Strahles in rasche Drehung versetzte Aeolipile.

Das Dasein der Luft weist Philon durch den nämlichen Versuch wie Heron nach. Weniger glücklich ist er in der Erklärung der Wirkungs-

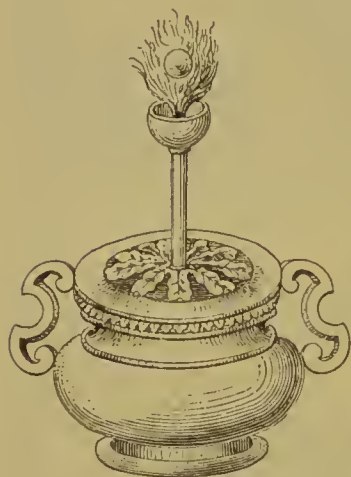


Fig. 32.

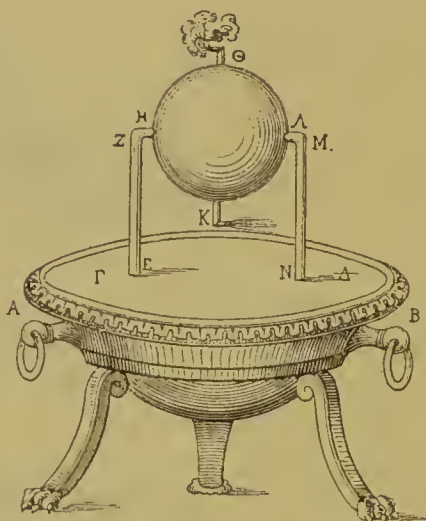


Fig. 33.

weise des Hebbers. Dass beim Saugen die Luft in die Höhe gezogen werde, habe seinen Grund darin, dass die Luft leichter als das Wasser ist. Werde sie nun aus einem Raume aus-

getrieben, so trete an ihre Stelle ein anderer, mit ihr in Verbindung stehender Körper. Das ist das Wasser, und deshalb werde es mit

emporgehoben. Diese Erklärung wollte Philon mittels des in Fig. 34 dargestellten Apparates rechtfertigen. »Man nimmt«, sagt er, »ein Büffelhorn,

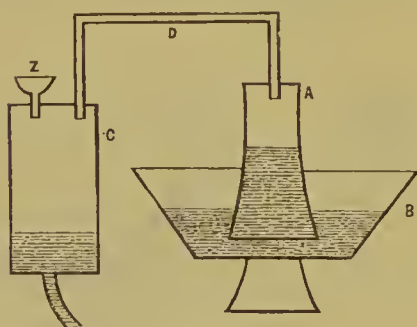


Fig. 34.

es muss eine genügende Kapazität, eine mittlere Höhe und die Form eines Trinkgefäßes haben. Am unteren Teile bringt man eine runde Scheibe von trockenem Holze an, um das Resultat, das wir wünschen, zu erhalten. Diese Scheibe muss so angebracht sein, dass Luft nirgends entweichen kann, und man wird so in dem Horne eine Höhlung haben, wie es die Büchsen sind. Man wird hierauf dieses Horn

in ein Gefäß umstürzen, dessen Öffnung weit sein muss, z. B. in eine Schale; alsdann wird man darunter oder an der Seite eine Büchse aus Blei stellen in der Weise, dass der Luft kein Ausweg geboten wird, wenn es nötig sein wird. Diese beiden Behälter verbindet man durch eine wasserdichte Röhre, deren Enden umgebogen sind und beinahe bis auf deren Grund reichen. Der Bleibehälter hat am oberen Teile in der Weise eine kleine Öffnung, dass man sich ihrer bedienen kann, um Wasser in das untere Gefäß zu gießen. Man bringe nun an dem unteren Teile dieses Behälters eine andere kurze Röhre von kleinem Durchmesser an, durch welche wir

das Wasser ausfließen lassen können, wenn wir es wünschen. Es sei z. B. *A* das Horn, *B* das schüsselähnliche Gefäß, *C* der Bleibehälter, *D* die große gemeinsame Röhre und *Z* die kleine Öffnung am oberen Teile des Bleibehälters. Wenn alle diese Bestandteile miteinander verbunden sind, wie wir es angegeben haben, verstopfe man das kleine untere Loch, fülle den Bleibehälter durch die obere Öffnung mit Wasser, verstopfe darauf diese Öffnung, so dass nichts ausfließen kann. Man öffne jetzt die untere Röhre, welche verschlossen war und das Wasser wird ausfließen. Die Luft, die in dem Horne ist, wird angezogen werden und bei ihrem Aus-treten wird sie das in dem Gefäße enthaltene Wasser mitreißen¹⁾, weil das flüssige Wasser in innigem Zusammenhange mit der Luft steht und entsprechend der austretenden Luftmenge eine Wassermenge nachfolgt und ihren Platz einnimmt, ohne einen Zwischenraum zu lassen. Indem das Wasser ausfließt, tritt Luft an seine Stelle, und wenn sämtliches Wasser aus dem Behälter ausgeflossen sein wird, wird das Wasser, das gehoben wurde, herabsinken; denn so entspricht es seiner Natur«.

Ganz auf dieselbe Weise wird mit Hilfe einer gekrümmten Röhre, die man manchmal den ägyptischen Kompass nennt, das Wasser eines hoch gelegenen Teiches zunächst gehoben und beim Ausfließen gelangt es an einen Ort, der tiefer als der Teich liegt.

Aus diesem innigen Zusammenhang von Wasser und Luft erklärt es auch Philon, dass, wenn das untere Ende eines mit Wasser gefüllten oben verschlossenen Rohres unter Wasser geöffnet wird, kein Wasser ausfließt, sucht er die Beobachtungen an den zum Teil mit Hebern versehenen Apparaten (Fig. 35, 36, 37) verständlich zu machen, wenn die obere Öffnung

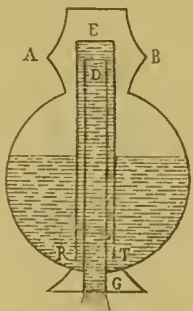


Fig. 35.

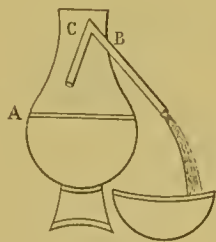


Fig. 36.

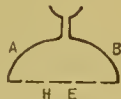


Fig. 37.

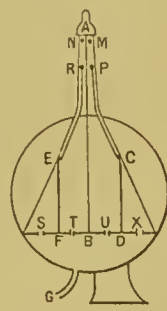


Fig. 38.

frei gelassen wird. Fig. 38 stellt ein ähnliches Gefäß mit durchlöcherter Boden dar, welches aber durch Scheidewände in verschiedene voneinander getrennte Abteilungen geteilt und in ein weiteres Gefäß mit der unten befindlichen Anflussöffnung *G* befestigt ist. Sind die oberen Öffnungen sämtlich geschlossen, so tritt keine Flüssigkeit aus. Öffnet man aber eine oder einige der Öffnungen, so kann man eine oder ein Gemisch der

1, An dieser Stelle ist ein nichtssagender Zusatz weggelassen, den de Rochas für eine spätere Einschaltung hielt.

in die Gefäße durch die Öffnungen *S*, *T*, *U* und *X* eingefüllten Flüssigkeiten wieder austreten lassen.

Fig. 39 zeigt die viel unbeholfenere Art, wie Heron denselben Zweck behufs Mischung von Wasser und Wein in einem beliebigen Verhältnis erreichen wollte. Das Gefäß *AB* besaß das doppelte Volumen von *ΓΔ*, das oben geschlossen und mit dem gleichfalls oben geschlossenen Gefäße *EZ* durch einen Heber *Θ* verbunden war. Ein zweiter über *EZ* nicht herausragender Heber führte von dort in das oben offene Gefäß *ΞΟ*. Die Deckel von *ΓΔ* und *EZ* hatten oben Öffnungen. *AB* war mit Wasser gefüllt, *ΓΔ* und *EZ* enthielten Wein. Durch Öffnen der in den Boden eingelassenen Röhren *ΥΨ* und *ΠΡ* konnte man das Gemisch abfließen lassen.

Die Figuren 40 und 41 bezwecken die Lösung einer Aufgabe, die später Mariotte in einer für unsere Zeit zweckmäßigeren Form löste, Ausflussgefäße mit konstantem Niveau herzustellen. Die Ausflussgefäße *GHZ*

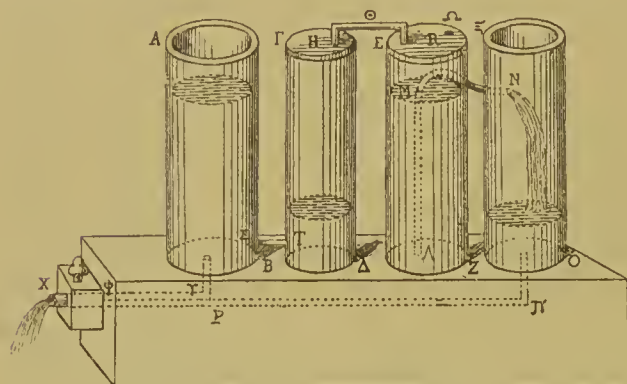


Fig. 39.

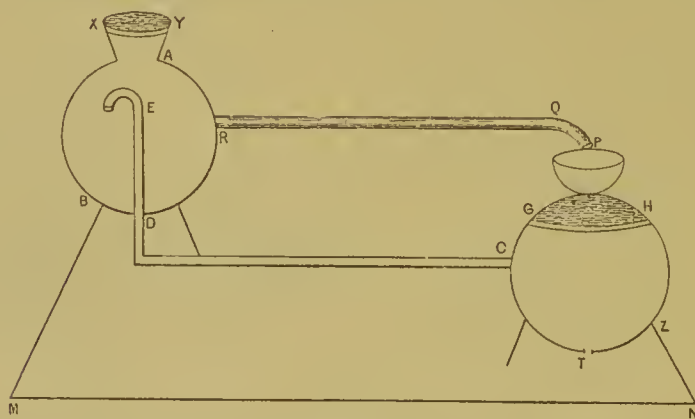


Fig. 40.

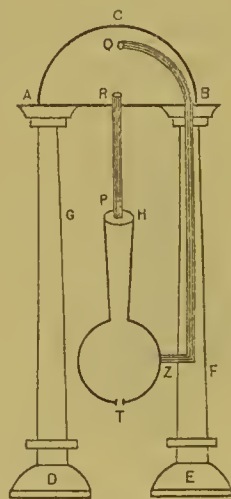


Fig. 41.

haben enge Öffnungen bei *T*. Durch ein Rohr *RP* fließt die Flüssigkeit aus höher gelegenen, verschlossenen Gefäßen *AB* in sie hinein, bis sie die untere Öffnung eines zweiten die Gefäße verbindenden Rohres, welches im oberen Teile des Gefäßes *AB* mündet, verdeckt. Der Zufluss aus *AB* dauert nur so lange, als die Öffnung dieses zweiten Rohres frei bleibt, während der Abfluss durch *T* anhält. In Fig. 42 ist das die Flüssigkeit aus dem oberen in das untere Gefäß führende Rohr unten angebracht,

zwischen beide aber ist eine Wand ST gelegt. Die Wirkungsweise des Apparates ist dieselbe, wie die der vorigen. Er sollte wohl mehr zur Unterhaltung dienen, indem GHZ sich in rätselhafter Weise immer wieder bis R füllte, so oft man auch Flüssigkeit ausschöpfte. Dazu brauchte nur ABQ stets gefüllt gehalten zu werden.

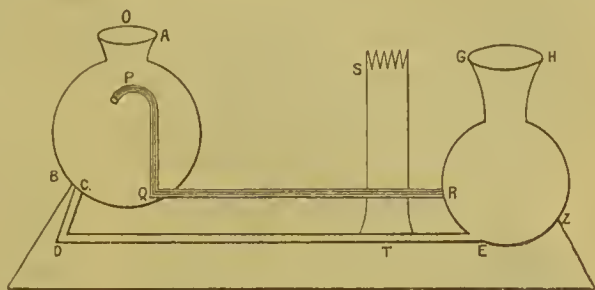


Fig. 42.

Die Herstellung solcher Gefäße mit langsamen Flüssigkeitszufluss ist bis zum Auftreten der Petroleum- und Gasbeleuchtung von Wichtigkeit gewesen. Hat sich doch auch Galilei mit der Konstruktion einer solchen befasst. Es kam dabei darauf an, den Ölzufuss zum Docht nach Maßgabe der Menge des in ihm verbrannten Öles zu regeln. Den Apparat, den Philon zu diesem Zweck angab, zeigt Fig. 43. »Man habe«, so beschreibt er ihn, »ein Gefäß ABC mit zwei Röhren CD und BE an beiden Seiten, eine andere vertikale Röhre $KLMN$ gehe aus ihm in das Gefäß GLZ , so dass dadurch beide Gefäße miteinander verbunden sind. Das Gefäß GLZ habe an zwei Seiten zwei vorspringende, den Lampen ähnliche Anhängsel GT und SZ , die sich unter den Röhren CD und BE befinden. Füllt man das Gefäß ABC bis zu einer geringeren Höhe als N mit Wasser (und verschließt die Öffnung A), so wird es durch CD nach SZ und durch BE nach GT fließen und von da in das Gefäß GLZ so lange, bis es am untersten Ende des Kanals LK angelangt ist. Wenn dies der Fall ist, wird das Ausströmen durch D und E aufhören. Wenn die im Gefäß ABC enthaltene Flüssigkeit Öl ist und man in das Gefäß GLZ einen Docht oder Papier legt, wo Öl ist, wird dieses beim Brennen (des Dochtes) in GZ verzehrt werden und nach und nach aus ABC durch DE herabfließen«.

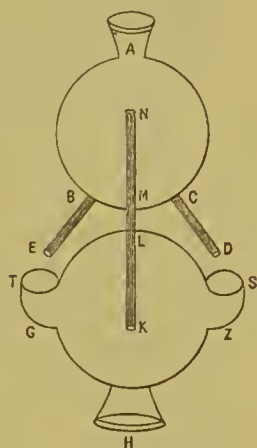


Fig. 43.

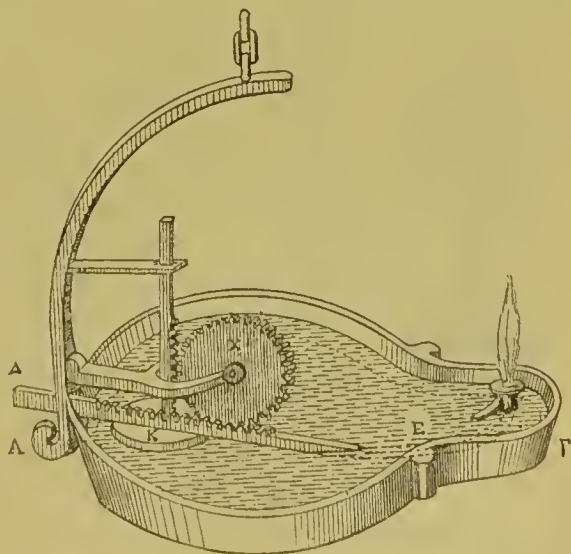


Fig. 44.

In etwas anderer Weise hat auch Heron den wechselnden Stand des Öls in der Lampe benutzt, um eine solche herzustellen, »die sich selbst unterhält«. Sie ist in Fig. 44

abgebildet. Der Docht ist an der in das Zahnrad X eingreifenden Zahnstange AE angebracht, während in das Rad zugleich eine zweite senkrechte Zahnstange greift, die an dem Schwimmer K befestigt ist. Mit dem Ölverbrauche senkt sich dieser, schiebt dabei durch Vermittelung des Zahnrades X die Stange AE und den Docht vor, so stets seine noch unverkohlten Teile in die Flamme führend.

Um über die Beziehungen des Feuers, d. i. der Wärme zur Luft klar zu werden, machte Philon zwei Versuche, die scheinbar das entgegengesetzte Resultat gaben, die er aber doch richtig zu deuten weiß. Den ersten, welchen Fig. 45 vorstellt, beschreibt er folgendermaßen¹⁾: »Man stelle eine Bleikugel von mäßiger Größe her, die inwendig leer (hohl) und geräumig

ist. Sie sei weder zu dünn, um nicht gleich zu platzen, noch zu schwer, aber ganz trocken. Man durchbohre sie oben und setze eine gebogene Röhre ein, die fast bis auf den Boden reiche. Das andere Ende dieser Röhre stelle man in ein anderes mit Wasser gefülltes Gefäß. Dieses Ende reiche, wie in der Kugel fast bis auf den Boden, um den Ausfluss des Wassers zu erleichtern. Die Kugel sei A , die Röhre B , das Gefäß G . Ich behaupte also, wenn man die Kugel in die Sonne stellt, so wird nach Erwärmung der Kugel ein Teil der in der Röhre eingeschlossenen Luft hinausgehen. Dies kann man daran sehen, dass die Luft, welche aus der Röhre ins Wasser strömt, das Wasser in Bewegung setzt und eine Luftblase nach der anderen hervorruft. Wird aber die Kugel in den Schatten

oder an eine Stelle gesetzt, zu der kein Sonnenstrahl dringt, so steigt das Wasser durch die Röhre empor und fließt bis in die Kugel. Stellt man die Kugel nachher wieder in die Sonne, so wird das Wasser in jenes Gefäß zurückfließen. So oft man den Vorgang wiederholt, zeigt sich dieselbe Erscheinung. Dieselbe Wirkung erzielt man, wenn man die Kugel durch Feuer erhitzt oder heißes Wasser darauf gießt. Wird sie dagegen abgekühlt, so steigt das Wasser wieder auf.«

Die Anordnung des zweiten Versuches ist aus Fig. 46 zu ersehen. Über eine brennende Kerze BC stülpte der Alexandriner ein kolbenartiges Gefäß AD , dessen untere Öffnung durch Wasser abgeschlossen war. Das Wasser stieg empor, denn die Luft wird durch das Feuer verzehrt, »da sie nicht mit diesem existieren kann«.



Fig. 46.

1) Die Übersetzung nach W. Schmidt, Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik. 8. Heft. Leipzig 1898. S. 163, eine Abhandlung, deren Inhalt freilich von Burckhardt bereits vor 30 Jahren vorweg genommen ist.

Dass die Alexandriner ihre mannigfachen Kenntnisse auch zur Konstruktion von Maschinen für technische Verwendung benutzt haben, war nach der Richtung ihres Arbeitens zu erwarten. Philon baute den in Fig. 47 abgebildeten Rammbar, den er zum Spalten von Steinen benutzt wissen wollte, und von Ktesibios wird berichtet, dass er die als bewegende Kraft benutzte Torsion der Seile durch die Spannkraft der Luft oder die Elastizität von gespannten Metallfedern ersetzt habe.

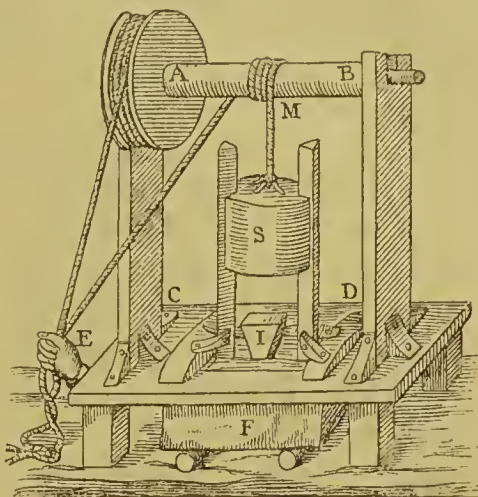


Fig. 47.

Weitans berühmter wie diese Erfindungen sind zwei andere des Ktesibios geworden, über die Berichte von Heron und Vitruv auf uns gekommen sind, die Feuerspritze und die Wasserorgel. Die Feuerspritze, wie sie nach Herons Text rekonstruiert worden ist¹⁾, giebt Fig. 48. Sie bestand, wie die jetzt noch gebräuchlichen, aus zwei Druckpumpen, die auf ein Steigrohr wirkten. Die Einrichtung der Ventile lässt die Nebensignur rechts, die wasserdichte Verbindung des Steigrohres mit dessen oberem Ansguss tragenden Teil die Nebensignur links erkennen. Um ihn anzubringen, lief das Steigrohr $\sigma\eta$ oben in zwei zweimal rechtwinkelig gebogene Röhrenstücke aus, in deren Öffnungen ein T-förmiges Röhrenstück z eingesetzt war. Die Bohrungen beider waren aber so gelegt, dass sie in der gezeichneten Stellung aufeinander passten und somit der Flüssigkeit den Durchgang gewährten, nicht aber, wenn z nach unten gedreht wurde. Von der modernen Feuerspritze unterscheidet sich die in der Fig. 48

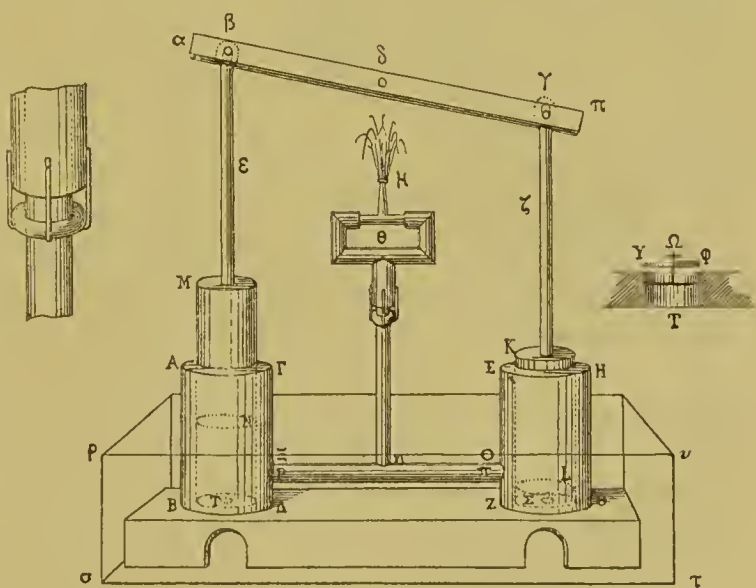


Fig. 48.

1) Veterum Mathematicorum (Athenaei, Bitonis, Apollodori, Heronis, Philonis et aliorum) opera. Ex manuscriptis codicibus Bibliothecae Regiae. Parisiis 1693.

dargestellte durch das Fehlen des Windkessels, sie konnte also nur intermittierende Wasserstrahlen werfen. Da nun aber einerseits die Pneumatica den Heronsball beschreiben, dieser Apparat also auch wohl schon von Ktesibios angegeben ist, andererseits aber die abgebildete Feuerspritze nicht das Original, sondern nur eine Rekonstruktion aus dem 17. Jahrhundert darstellt, so schien nichts natürlicher, als die Annahme, man habe, wie es ja für nahe liegend gehalten werden muss, auch an der antiken Feuerspritze den Heronsball als Windkessel angebracht und dies um so mehr, als Vitruv's Beschreibung, eine solche Annahme zu unterstützen scheint¹⁾. Vitruv beschreibt zwar so ziemlich dieselbe Maschine wie Heron, aber er lässt die beiden aus den Pumpencylindern heraustretenden Röhren in ein tiegel- oder beckenförmiges Gefäß, den »catinus« münden, welches einen trichterförmigen Deckel besitzt. Aus dem obersten Punkte desselben erhebt sich das Steigrohr, der Deckel aber ist mit Hilfe einer »fibula« mit dem »catinus« mittels eines hindurch gesteckten Keiles befestigt, »damit ihn nicht die Gewalt des Aufblähens des Wassers emporhebe«²⁾. Wie dies zu verstehen ist, wird aus der kurz vorher gemachten Bemerkung klar, »dass das Wasser mit Hilfe der Luft in den catinus hinein getrieben werde«³⁾. Diese Stelle, besonders aber die weiter unten folgende, »hier (im catinus) wird die Luft dadurch an den Deckel gedrängt, dehnt sich aber nach dem Drucke wieder aus und presst das Wasser durch die Röhre in die Höhe«⁴⁾, schien nun keine andere Deutung zuzulassen, als dass Vitruv den Windkessel meine, dass derselbe also wenigstens zu seiner Zeit an der Feuerspritze angebracht gewesen sei. Doch spricht dagegen, dass die Befestigung des Deckels auf dem catinus keinen luftdichten Verschluss giebt und dass von einem Herabreichen des Steigrohres bis zum Boden des catinus nicht die Rede ist.

Glücklicherweise ist uns nun eine zweistiefelige Druckpumpe erhalten, welche, wenn sie auch wohl ein halbes Jahrhundert jünger ist wie Vitruv, da sie wahrscheinlich aus der Zeit des Antoninus Pius stammt, doch geeignet sein dürfte, die erwünschte Aufklärung zu geben. Sie ist in Castro novo an der Küste von Civita vecchia am Ende des vorigen Jahrhunderts ausgegraben und von Visconti⁵⁾ zur Zeit beschrieben und abgebildet. Eine Reproduktion dieser Abbildung, soweit sie für uns hier notwendig ist, ergibt die Durchschnittszeichnung Fig. 49, die die Mitte und den einen Cylinder nebst Kolben darstellt. Wenn sie auch wohl nicht als Feuerspritze gebraucht worden ist, so dürfte sich aus dem Umstand, dass auf sie die Beschreibung Vitruv's genau passt, ja deren Dunkelheiten

1) Vgl. E. Gerland, Die Erfindung der Feuerspritze mit Windkessel in Glasers Annalen für Gewerbe- und Bauwesen. Bd. XII. Heft I. Nr. 133. 1883.

2) Ne vis inflationis aquae eam eogat elevare.

3) Id quod spiritu in catinum fuerit expressum.

4) E quo recipiens penula spiritus exprimit per fistulam in altitudinem.

5) Visconti, Giornale de la Letteratura Italiana. Mantova 1795. V. S. 303.

müheelos erhellt, der Schluss ergeben, dass die Feuerspritzen der damaligen Zeit nicht anders aussahen.

»Die Zeichnung der in Rede stehenden Pumpe«, sagt a. a. O. der eine von uns¹⁾, »zeigt uns zunächst, wie weit vorgeschritten die damalige Technik bereits war. Weiter sieht man, dass der »catinus« ganz fehlt, da er durch die Weite des Steigrohres überflüssig geworden war, und dass er wohl aus ästhetischen Rücksichten in der Ausbauchung des unteren Teiles des Steigrohres, welches das kurze, vom horizontalen abgehende senkrechte Rohrstück überfängt, äußerlich nur noch angedeutet ist. Auch ist der Raum, den er einzunehmen hätte, an seinem oberen Ende durch ein Ventil scharf abgegrenzt, welches bei Herons Konstruktion fehlt, freilich auch von Vitruv nicht erwähnt wird. Gerade dies Ventil aber dürfte geeignet sein, die nötigen Erklärungen zu geben. Obgleich es auf den ersten Blick entbehrlich erscheint, so musste seine Anbringung doch notwendig werden, als man versuchte, größere Wassermassen zu heben. Es diente alsdann dazu,

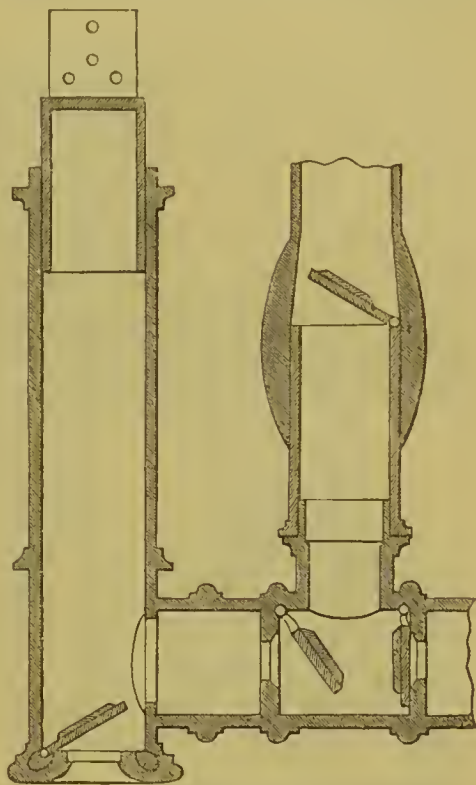


Fig. 49.

die Ventile in den horizontalen Rohrstücken zu entlasten, deren Spiel sehr erschwert werden mußte, wenn die ganze im Steigrohre enthaltene Wassersäule ohne elastische Zwischenschicht auf sie drückte. Da nun infolge des gewiss noch nicht sehr vollkommenen Schlusses der Pumpkolben²⁾ wohl bei jedem Kolbenhub auch etwas Luft in das angesaugte Wasser geriet, die dann beim Niedergang des Kolbens mit in das Steigrohr gepresst wurde, so konnte es die Vorteile des Windkessels wenigstens einigermaßen ersetzen. Es musste ja diese Luft sich sofort unter das Ventil begeben und sich hier ansammelnd so lange zusammengepresst werden, bis ihre Spannkraft imstande war, den Druck der im Steigrohre befindlichen Wassersäule zu überwinden. Dann musste sie das Ventil öffnen und konnte nur durch das Steigrohr entweichen, indem sie die ganze Wassersäule hob. Dadurch war dann zugleich der Vorteil erreicht, dass die Pumpbewegung leichter und weicher wurde. Gegen den Windkessel stand aber diese Einrichtung insofern sehr zurück, als bei ihr die Luft stets erneuert werden

1) Gerland, a. a. O.

2) Wir werden sehen, welche Schwierigkeiten noch im 17. Jahrhundert die Dichtung der Pumpkolben machte.

musste, wofür freilich der undichte Verschluss des Kolbens hinreichend sorgen mochte. Diese Annahme würde nun mit einem Schlage die sämtlichen Dunkelheiten der Vitruvschen Darstellung aufhellen; dass ihr Urheber aber vergessen, das Ventil zu erwähnen, würde gewiss nicht schwer ins Gewicht fallen, da eine ähnliche Unterlassung nach Buttmann¹⁾ auch bei Heron vorkommt.

Hat nun das Altertum die Feuerspritze mit Windkessel nicht gehabt, so muss dieser eine Erfindung der neueren Zeit sein; wir werden im Verlaufe unserer Schilderungen in der That zeigen können, dass diese Erfindung erst aus der Mitte des 17. Jahrhunderts stammt. Dabei bleibt aber noch eine Schwierigkeit aus dem Wege zu räumen. Den Heronsball beschreiben die Pneumatica ausführlich und zwar geht seine Beschreibung der der Feuerspritze voraus. So erseht es unerklärlich, dass man jenen nicht an dieser angebracht haben sollte. Die Erklärung dafür liegt jedoch in der ursprünglichen Form des Heronsballes, die aus Fig. 50

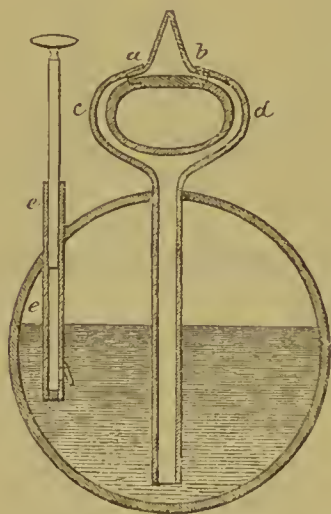


Fig. 50.

ersichtlich ist. Das Austrittsrohr ist ebenso, wie bei der Feuerspritze geformt. *ab* ist das Endstück, welches sich in der Gabel *cd* des Steigrohres drehen kann. *ee* ist eine Druckpumpe, welche Luft in das Gefäß pumpt. Man pumpte nun vor dem Gebrauche genügend Luft ein, dachte aber nicht daran, dies bei geöffnetem Steigrohre fortzusetzen oder gar neues Wasser zuzuführen. In der That war diese erste Form des Heronsballes nicht geeignet, auf solche Ideen zu führen. Dass nun der Apparat seinen Namen wohl nicht mit Recht trägt, sondern vielmehr den Ktesibios als Erfinder haben dürfte, ist für die obigen Darlegungen ganz gleichgiltig. Stammt er aber aus so später Zeit, dass ihn Vitruv noch nicht kannte, so würden unsere obigen Schlüsse nur

um so mehr bindend sein. Auch dürfte es gerechtfertigt sein, dass wir vorgreifend die Feuerspritze, wie sie das Altertum kannte, hier schilderten, statt später noch einmal darauf zurückzukommen, da ja doch alle Apparate der Alexandriner uns nur aus späteren Überarbeitungen bekannt sind.

Die Wasserorgel²⁾, zu deren Betrachtung wir uns nun wenden, beschreibt Heron im wesentlichen folgendermaßen: »Man denke sich einen kupfernen, altarähnlichen Behälter *αδ* mit Wasser, und in das Wasser eine

1) Buttmann, Über die Wasserorgel und Feuerspritze der Alten. Abh. der hist.-philol. Klasse der Akad. der Wissensch. in Berlin. 1804—1811. S. 133.

2) Ph. Buttmann, a. a. O. 1811. S. 171. S. Jan in Baumeisters Denkmälern des klassischen Altertums. München und Leipzig 1885. 3 Bde. Art.: »Flöte«. S. 563 ff. und A. de Rochas, La science des philosophes et l'art des thaumaturges dans l'antiquité. Paris 1882. S. 283.

hohle Halbkugel $\zeta\eta$ gestürzt, den sogenannten *Pnigens* (eigentlich »ein Kohlensticker«, eine Glocke, die man über das Feuer stürzt), oder Windkessel, in den das Wasser vom Boden des erstgenannten Behälters eindringen kann (s. Fig. 51, die von Buttmann rekonstruiert ist). In den oberen Teil dieses Behälters seien zwei Röhren eingepasst, deren eine, η , außerhalb des Behälters bei z wieder abwärts geführt und in einen Cylinder ν eingefügt sein muss, der unten offen und zur Aufnahme eines Kolbens eingerichtet ist. In diesen Cylinder muss der Kolben ς genau passen, so dass er keine Luft durchlässt. An diesen Kolben aber ist eine recht feste Stange τ angebracht, und an dieser am Kolben befestigten Stange wiederum eine andere φ , die sich um den Bolzen v bewegt und an einer dritten aufrecht stehenden Stange χ hebelartig auf- und niedergeht. Aber oben auf dem

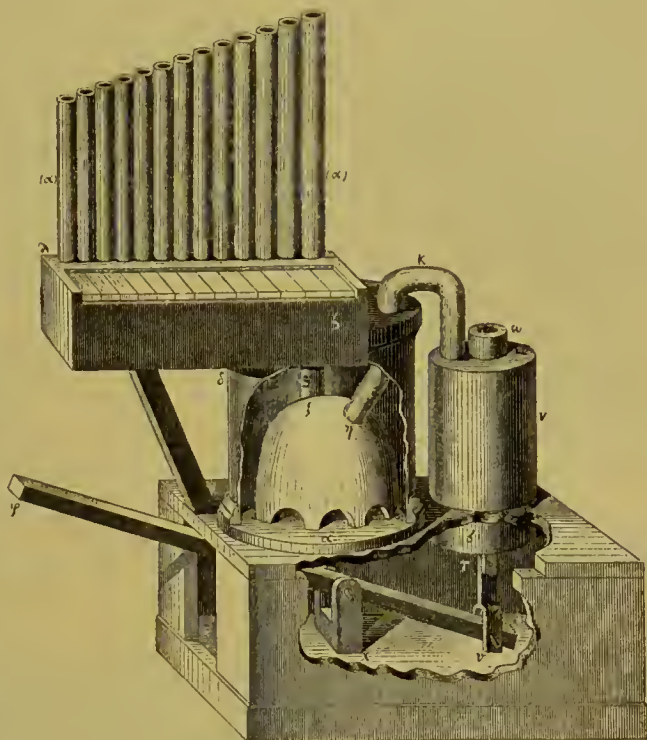


Fig. 51.

Cylinder ν befindet sich ein kleinerer ω , in jenen eingepasst und oben geschlossen, jedoch auch mit einer Öffnung, durch die die Luft in den großen Cylinder einströmen kann. Über seiner (oberen) Öffnung muss sich eine Scheibe ψ befinden, die ihr zum Verschluss dient und die am Rande, wo sie durchlöchert ist, von kleinen Stiften mittels deren Köpfen gehalten wird, so dass sie nicht herunterfallen kann. Diese Scheibe heißt die Klappe; dieselbe bewegt sich also in der kleinen Büchse auf und ab. Geht der Kolben im Cylinder abwärts, dann senkt auch sie sich bis an die Köpfe der Stiftehen und lässt Luft einströmen, geht aber der Kolben aufwärts, dann hebt auch sie sich wieder und verschließt beide Cylinder; sie fungiert also als Klappe des Blasebalges. Aus dem Luftkessel $\zeta\eta$ geht aber noch ein zweites Rohr ς aufwärts und mündet in einen horizontal gerichteten Kanal $\varsigma\lambda$, die Windlade, in den auch die Pfeifen einmünden.

»Wenn nun der Hebel bei φ hinunter gedrückt wird, drängt der Kolben ς , indem er aufwärts steigt, die Luft aus dem Cylinder ν , und dieser schließt vermittelst der erwähnten Klappe ψ die Öffnung des kleinen Cylinders ω und geht durch das Rohr z in den Luftbehälter, aus diesem aber durch das Rohr ς in den horizontalen Kanal $\varsigma\lambda$ und aus diesem wird

sie in die Pfeifen kommen, wenn die Bohrungen in den Deckeln entsprechend gestellt sind.«

»Das Wasser aber wird in den altarähnlichen Behälter gethan, damit die in demselben befindliche Luft, die aus dem Cylinder hereingepumpt wird, indem sie (bei jeder Abnahme ihres Quantums) das Wasser steigen lässt, so zusammengehalten wird, dass die Pfeifen tönen können. Unter diesen befinden sich Kästchen, die in sie einmünden. Zwischen den beiderseitigen Mündungen aber sind durchbohrte Deckel eingesehoben. Die Windlade ist also in eine fortlaufende Reihe solcher Kästchen zerlegt. Damit sich nun, sowie eine Pfeife ertönen soll, ihre Mündung öffnet, und wenn sie schweigen soll, wieder schließt, bringen wir folgende Einrichtung an (Fig. 52). Man denke sich eines dieser Kästchen allein für sich ($\gamma\delta$) und

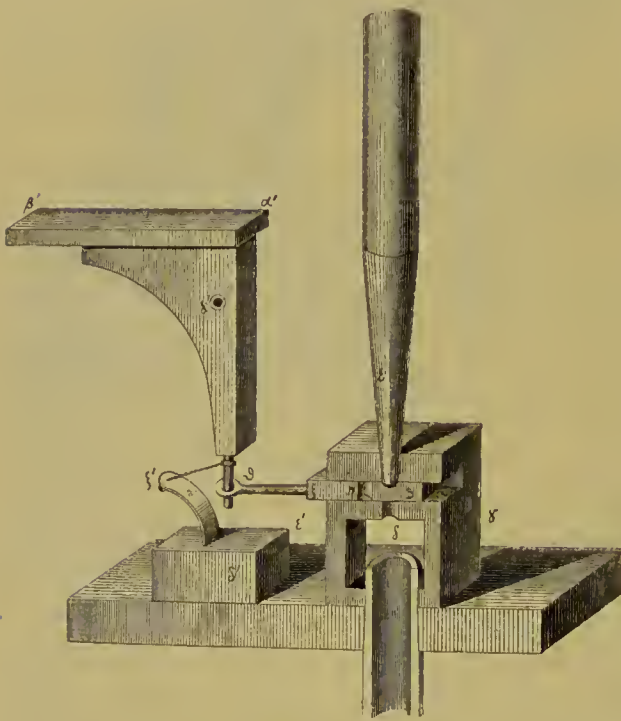


Fig. 52.

seine Öffnung bei δ , denke sich die dazu gehörige Pfeife ϵ und den dazu passenden Deckel ζ mit seiner Öffnung η , letztere aber augenblicklich von der Pfeife abgerückt. Ferner müssen wir einen dreigliedrigen Hebelarm haben $\zeta\theta\alpha'\beta'$, von dem ein Glied $\zeta\theta$ mit dem Deckel zusammenhängt, während sich das andere $\alpha'\theta$ um einen in seiner Mitte befindlichen Bolzen γ' bewegt. Wenn wir nun das Ende β' dieses Hebels (oder der Taste) mit der Hand niederdrücken, werden wir den Deckel einwärts stoßen an die Mündung des Kästchens bei δ und wenn er eingestoßen ist, dann kommt sein Loch unter das der Pfeife. Damit aber

beim Wegziehen der Hand auch der Deckel sich von selbst wieder heraushebt und die Pfeife aus dem Spiele bringt, muss noch folgende Vorkehrung getroffen sein. Unterhalb des Kästchens muss eine Leiste ϵ' liegen, gerade wie die Röhre $\zeta\lambda$ und parallel mit ihr und auf dieser müssen Federn aus Horn befestigt sein, wohl gespannt und rückwärts gebogen, wie eine zum Kästchen δ gehörige bei ζ' sichtbar ist. An ihrem oberen Ende muss eine Sehnur angebunden und nach θ hingeführt sein, straff angezogen (auch schon) wenn der Deckel heruntergegangen ist. Schieben wir nun durch einen Druck auf das Ende der Taste bei β' den Deckel nach innen, so wird die Feder durch die Sehnur angezogen und ihre Krümmung mit Gewalt gerade gebogen; lassen wir aber die Taste los, dann wird die Feder sich wieder in

ihre ursprüngliche Lage zurückbiegen und den Deckel von der Mündung wegziehen, so dass das Loeh verschoben wird. Da nun bei jedem einzelnen Kästchen dieselbe Vorrichtung angebracht ist, brauchen wir nur, wenn einige Pfeifen tönen sollen, die betreffenden kleinen Hebelarme mit dem Finger niederzudrücken; wenn sie dann nicht mehr klingen sollen, heben wir die Finger auf, die Deckel schieben sich heraus und die Töne hören auf.«

Auch hier ist der Heronsball nicht verwendet. Hat auch der Windkessel einige Ähnlichkeit mit ihm, so ist diese nur äußerlich. Denn die Luft wird nicht durch das Wasser, sondern durch den Kolben zusammengepresst und das Wasser im altarförmigen Behälter dient nur dazu, einen leicht beweglichen Abschluss für die Luft zu liefern. Übrigens fehlt auch eine Vorrichtung, welche den Rückgang der Luft beim Herabziehen des Kolbens verhütet, und deshalb legte Vitruv zwischen dem Windkessel und den einzelnen Pfeifenkästchen noch vier bis acht Zwischenkammern, die durch Ventile gegen den Windkessel abgesperrt werden sollten und die mit dem Wind, den sie von unten erhalten, etwa 3 bis 4 gegenüberliegende (*ordinata in transverso*) Pfeifen speisen sollen¹⁾.

Auch den Wind wollte Ktesibios zum Betrieb des Pumpkolbens verwenden. In der Weise, wie Fig. 53 dies andeutet, dürfte dies allerdings

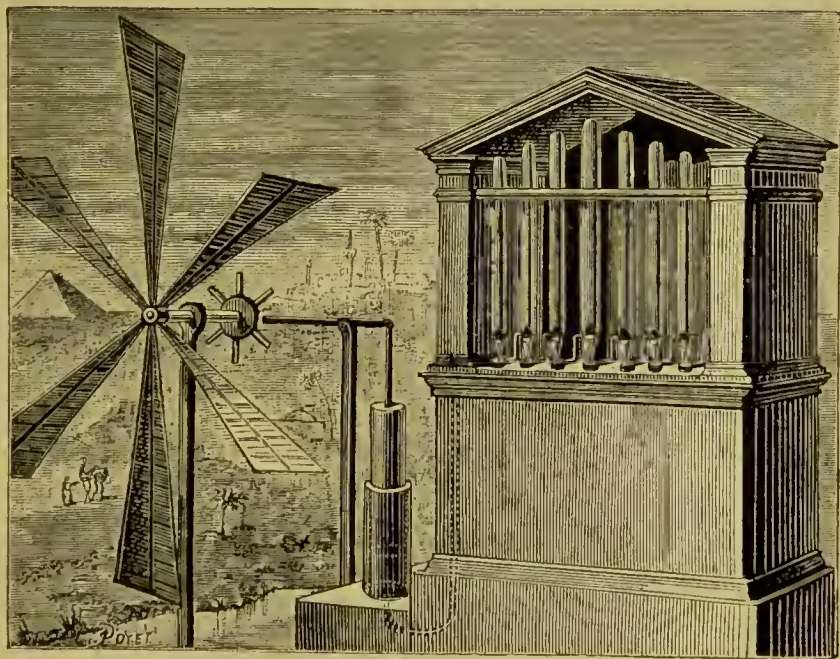


Fig. 53.

nicht mit Vorteil möglich gewesen sein, eher wenn er den Kolben der eben beschriebenen Einrichtung vom Winde bewegen ließ.

1) v. Jan, a. a. O., S. 566 u. 567.

Lediglich den Anwendungen ist endlich die Schrift Herons gewidmet, welche den Namen Dioptrik trägt. Das Wort hat aber nicht dieselbe Bedeutung wie gegenwärtig, wo es die Lehre von der Brechung der Lichtstrahlen umfasst. Für Heron ist es die Lehre von den Dioptern, den wichtigsten Messinstrumenten der Geometer seiner Zeit, deren Beschreibung er dann noch einige weitere Apparate anschließt. Das Diopter zeigt, allerdings wohl in modernisierter Rekonstruktion von Vincent¹⁾ Fig. 54.

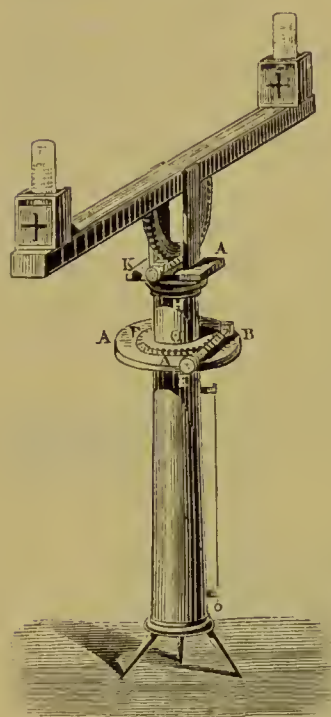


Fig. 54.

Es besteht aus einer Säule mit drei drehbaren Füßen, die mittels eines Senkels lotrecht gestellt werden kann. Auf ihr ist drehbar um eine horizontale Achse mittels der Schraube *B* und um eine vertikale mittels der Schraube *K* das eigentliche Diopter aufgestellt, ein vier Ellen langes Lineal, welches an beiden Seiten Plättchen mit kreuzförmigen Einschnitten zum Hindurchvisieren trägt und vermöge seiner bedeutenden Länge eine ziemlich sichere Einstellung verbürgt. Um das Lineal auch in eine Horizontale zu stellen, dazu benutzte man eine Wasserwage oder besser Kanalwage, zwei kupferne Röhrchen mit zwei angekitteten etwa 12 Fingerbreiten langen Glasröhrchen, in denen das Wasser sich gleich hoch stellen musste²⁾, so dass also hier das Prinzip der kommunizierenden Röhren in Anwendung kam. Die zu den Dioptern gehörigen Signalstangen unterschieden sich nur wenig von unseren Messlatten. Bleisenkel ließen sie senkrecht stellen, eine aufgetragene Teilung Höhen ablesen. Das geschah mit Hilfe einer verschiebbaren, kreisrunden Scheibe, deren beide Hälften von schwarzer und weißer Farbe in einem horizontalen Durchmesser zusammentreffend, Sichtbarkeit auf größere Entfernungen und genaue Einstellung und Ablesung ermöglichten.

Zur Herstellung einer horizontalen Ebene diente der vielgenannte Chorobates, zum Messen des von Schiffen oder Wagen zurückgelegten Weges das Hodometer, wie es Heron nennt. Der Chorobates (Fig. 55) bestand aus einem etwa 20 Fuß langem Lineal mit zwei Senkeln auf beiden Seiten, mit deren Hilfe man es wagerecht stellen konnte, was

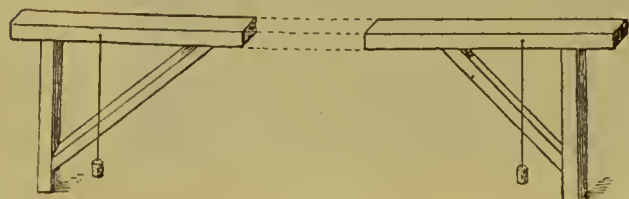


Fig. 55.

1) Vincent, Mémoires de l'Académie des inscriptions et belles-lettres en 1858.

2) Libri, Histoire des Sciences mathématiques en Italie. T. I. S. 56.

sich mit noch größerer Genauigkeit erreichen ließ, wenn man auf der Latte eine schmale Rinne zur Aufnahme von Wasser anbrachte. Das Hodometer war ein Zählwerk von der auch jetzt noch gebräuchlichen Art, welches durch das Spillenrad *M* in Bewegung gesetzt werden musste.

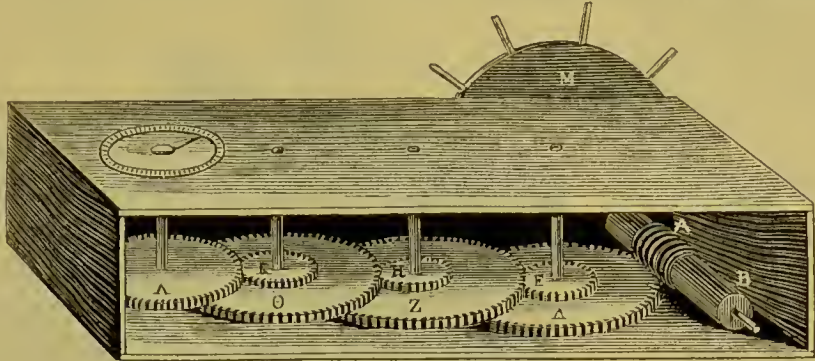


Fig. 56.

Während so die griechische Wissenschaft auf afrikanischem Boden zu hoher Blüte gelangte und namentlich der Beobachtungs- und Experimentierkunst eine mächtige Förderung angedeihen ließ, war sie in dem eigentlichen Griechenland fast ganz erloschen und es ist bezeichnend, dass die letzte Leistung, zu der sie sich an ihrem alten Sitz in Athen aufschwang, einen Macedonier zum Urheber hatte. Es war dies Andronikos aus Kyrrhos (Cyrrestes), welcher etwa zur Zeit des Ktesibios dort ein meteorologisches Observatorium errichtete, welches, wie es als »Turm der Winde« jetzt noch erhalten ist, Fig. 57 auf S. 54 wiedergiebt¹⁾. Ein achteckiges, turmartiges, ganz aus Marmor ausgeführtes Gebäude, dessen Seiten ein Fries in Basrelief mit den Darstellungen der Aeolnssöhne zierte, trug auf seinem höchsten Punkte eine Windfahne in Form eines beweglichen Tritons, der mit einer Rute nach der Richtung, aus welcher der Wind wehte, hinwies. Eine auf der Außenseite angebrachte Sonnenuhr ließ die Zeit ablesen. Aus noch erhaltenen Vorrichtungen im Inneren wird man schließen dürfen, dass hier sich noch eine Uhr, eine der Ktesibiosschen nachgebildete Wasseruhr befand. Nach den Angaben Vitruvs und Varros scheint man nach dem Muster dieses Turmes in Rom einen ähnlichen errichtet zu haben²⁾.

5. Die Römer und die jüngeren Alexandriner.

Die Römer sind in den Naturwissenschaften nicht selbständig schaffend aufgetreten, als ein nicht geringes ist indessen das Verdienst ihnen anzurechnen, dass sie die von ihnen benutzten griechischen Erfindungen uns aufbewahrt, hier und da auch wohl vervollkommen haben. Wie wichtig Vitruv und dies nicht zum wenigsten wegen seines vollständigen Mangels an Selbständigkeit für die Kenntnis der Leistungen des Archimedes und der Alexan-

1) Siehe Leake, Topographie von Athen. S. 151 der Übersetzung und Stuart, The Antiquities of Athen. Bd. I. Kap. 3. — Vitruv, a. a. O. I. 6, 4f.

2) Varro, De re rustica. III. 5.

driner geworden ist, hat unsere Darstellung des öfteren bewiesen. Indem er aber die Maschinen jener beschreibt, giebt er uns zugleich die Form derselben, die zu seiner Zeit üblich war. Hatten wir die Feuerspritze und

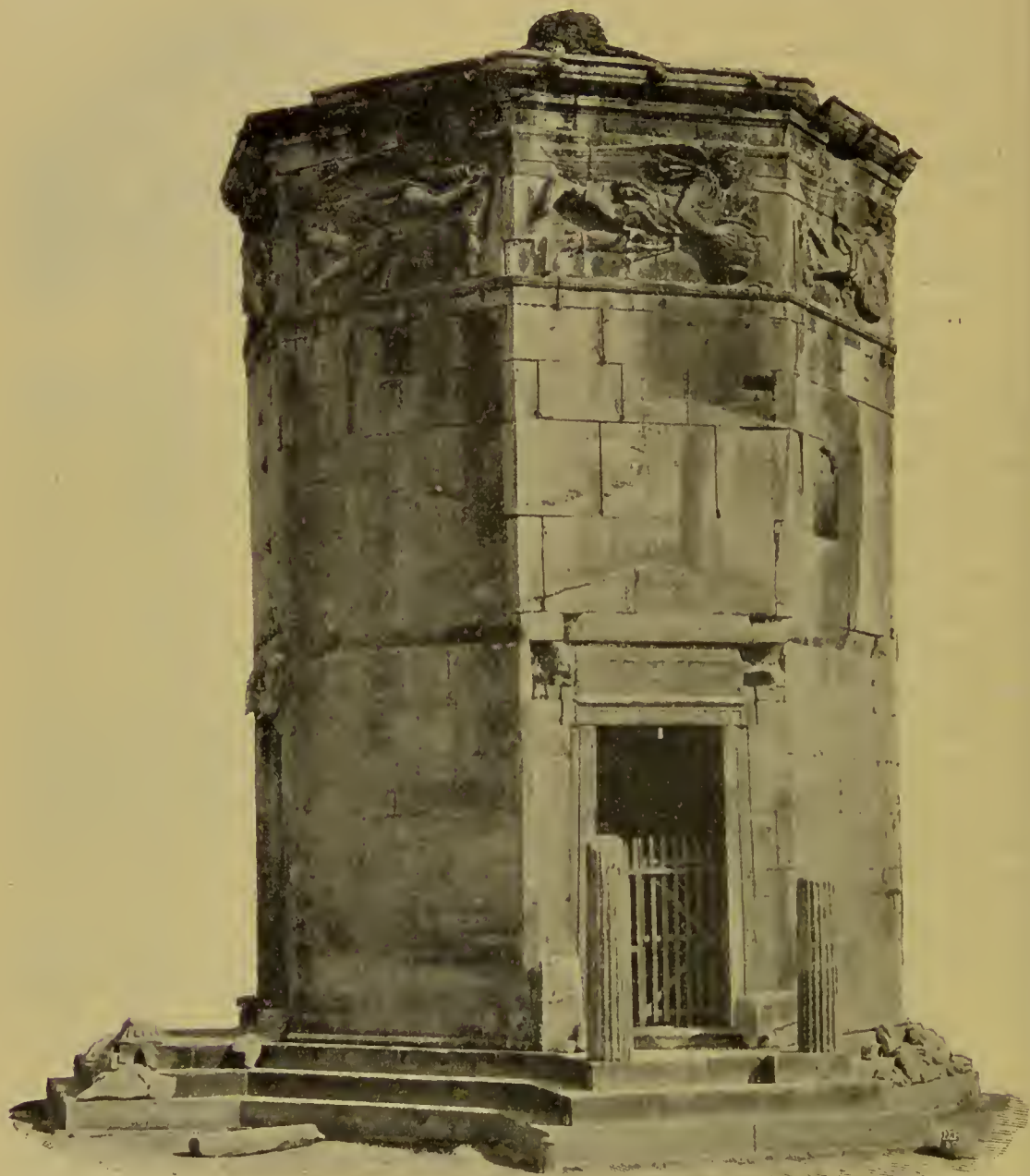


Fig. 57.

die Wasserorgel des besseren Zusammenhanges wegen schon früher beschrieben, so führen wir hier noch ein Hebezeug (Fig. 58) vor¹⁾, dessen Einzelheiten von dem praktischen Sinne der Römer Zeugnis ablegen. Der Flasehenzug, der nach Anzahl der Rollen als drei- oder fünfzünftig bezeichnet

1) Terquem, *La science romaine à l'époque d'Auguste*. Paris 1885. S. 75, Fig. 9.

wird, ist an der Spitze eines Dreibeins befestigt. Drei an Pflöcken, welche in die Erde getrieben sind, befestigte Tauen dienen dazu, die drei Stützen aufrecht zu halten; das Kraftseil wird mit Hilfe eines Haspels bewegt, welchen ein ebenso befestigter vierter Pflock festhält. Auch eine Wassermühle mit Zahnradbetrieb schildert uns der römische Baumeister.

Schon sein Amt brachte es mit sich, dass er sich für die Einrichtung der ja auch im Römerreiche so wichtigen Theater und Cirkus besonders interessierte, und so waren es denn auch namentlich die Schallgefäße des Theaters von Korinth, welche nach der Zerstörung der reichen Han-

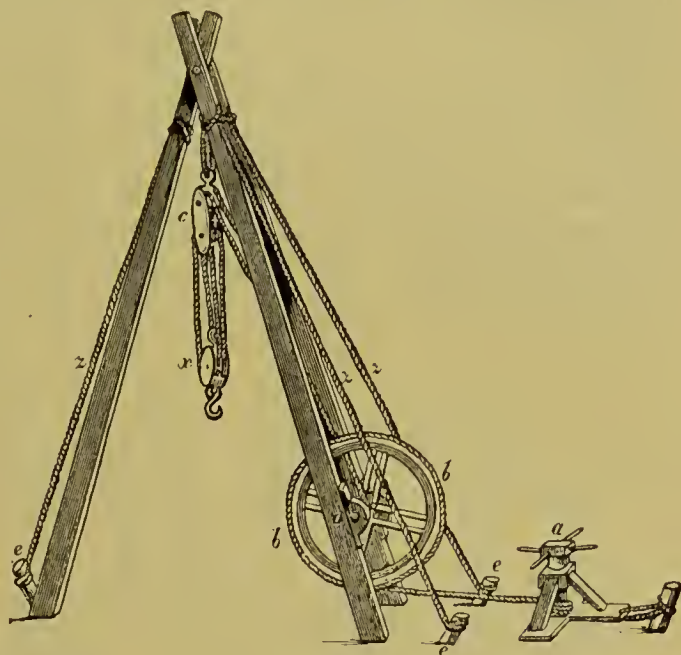


Fig. 58.

delsstadt nach Rom gebracht worden waren, um im Tempel der Luna aufgestellt zu werden, die er einem eingehenden Studium unterwarf. Er kam zu dem Ergebnis, dass solche Gefäße in entsprechendem Verhältnis zur Größe des Theaters gefertigt und so gestimmt werden müssten, dass sie den Klang der Quarte, Quinte u. s. w. bis zur Doppeloktave beim Anschlagen gäben. Unter den Sitzen in besonderen Kammern so aufgestellt, dass sie keine Wand berührten, würden sie dann den Schall, der von der Bühne, als Mittelpunkt ausgehend, an die Höhlungen dieser Gefäße gelange, besser hörbar machen. Bei den aus Brettern erbauten Theatern bedürfte man solcher Vorrichtungen nicht, da das Bretterwerk an und für sich töne.

Beruheten nun auch diese Vorrichtungen auf haltlosen Voraussetzungen, so waren doch die Vorstellungen, die Vitruv von der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft hatte, keineswegs unrichtige. »Die Stimme aber«, sagt er¹⁾, »ist ein fließender Lufthauch, und infolge der Berührung durch das Gehör vernehmlich; sie bewegt sich in unendlich kreisförmigen Rundungen fort, wie in einem stehenden Wasser, wenn man einen Stein hineinwirft, unzählige Wellenkreise entstehen, welche wachsend sich soweit als möglich vom Mittelpunkte ausbreiten, wenn nicht eine enge Stelle sie unterbricht oder irgend eine Störung eintritt, welche nicht gestattet, dass jene kreisförmigen Wellen bis ans Ende gelangen. Denn so bringen die ersten Wellenkreise, wenn sie durch Störungen unterbrochen werden, zurück-

1) Vitruv, a. a. O. V, 3, 6f.

wogend die Kreislinien der nachfolgenden in Unordnung. Nach demselben Gesetze bringt aneh die Stimme solche Kreisbewegungen hervor, aber im Wasser bewegen sich die Kreise nur in der Breite fort; die Stimme aber schreitet einerseits in der Breite vor und steigt andererseits stufenweise in die Höhe empor«.

Möglihenfalls ist die Schnellwage, die ja auch jetzt noch den Namen der römischen führt, das einzige Instrument, welches die Römer selbständig erfunden haben. In der altrömischen Zeit brauchte man sie bereits zur Bestimmung kleiner Gewichte, während die zweiarmige Wage bei größeren in Verwendung kam. Die Wagen und Gewichte wurden vielfach künstlerisch gestaltet, wie Fig. 59 erkennen lässt. Auch suchte man die Vor-

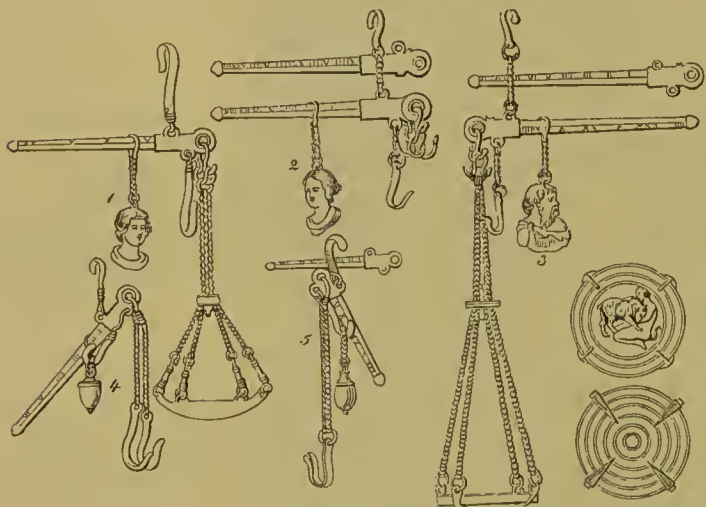


Fig. 59.

teile der Schnellwage mit denen der zweiarmigen in ähnlicher Weise zu vereinigen, wie es jetzt durch Anwendung des Reiters geschieht. So ist bei einer in Pompeji ausgegrabenen zweiarmigen Wage der Balken geteilt und es kann ein Gewicht auf ihm versehoben werden¹⁾.

Dass sich übrigens die Römer auch einzelnen, sich ihnen auf-

drängenden Beobachtungen nicht verschlossen, beweisen einzelne Stellen aus den Werken Senecas (gest. 65 n. Chr.), des älteren Plinius (gest. 79 n. Chr.) und des Offiziers und Ingenieurs Frontinus (gest. um 103 n. Chr.).

So bemerkte Neros Lehrer die vergrößernde Wirkung einer mit Wasser gefüllten Kugel²⁾, auf deren Benutzbarkeit als Brennglas Plinius dann aufmerksam machte, so beobachtete er weiter, dass ein mit Längskerben versehener Glasstab, auf den von der Seite Sonnenstrahlen fallen, die Farben des Regenbogens zeigt; er unterscheidet Rot, Gelb und Blau als Hauptfarben und macht darauf aufmerksam, dass diese Farben durch unzählige Farbentöne ganz unmerklich ineinander übergehen³⁾, und wäre dies wohl

1) Overbeck, Pompeji. 4. Aufl. Leipzig 1884. Fig. 245.

2) Seneca, Naturalium quaestionum I, 6, 5; Literae, quamvis minutae et obscurae, per vitream pilam aqua plenam maiores clarioresque cernuntur.

3) Ebenda, I, 7, 1: Virgula solet fieri vitrea, striata vel pluribus angulis in modum clavae torosa: haec, si in transversum solem accipit, colorem talem qualis in arcu videri solet, reddit. . . . ebend. 3, 4: Videmus in eo (sc. arcu) aliquid flammei, aliquid lutei, aliquid caerulei et alia in picturae modum subtilibus lineis ducta, ut an dissimiles colores sint scire non possis, nisi cum primis extrema contuleris.

die erste Beobachtung der Farbenzerstreuung durch ein Prisma. Frontinus aber fand den Satz, dass die Menge des aus einem Gefäße ausfließenden Wassers nicht bloß von der Größe der Öffnung, sondern auch von der Höhe des Wasserspiegels im Gefäße abhängt¹⁾.

Optische Untersuchungen waren es auch, um derentwillen wir den Alexandriner, dessen Darstellung des Planetensystems bis auf Tycho Brahe in unbestrittener Giltigkeit blieb, um derentwillen wir Claudius Ptolemaios zu erwähnen haben. Er lebte in der ersten Hälfte des zweiten Jahrhunderts nach Christi Geburt und stellte Versuche zur Ermittlung des Brechungsgesetzes an, deren Ergebnisse uns auch im einzelnen aufbewahrt worden sind. Da er der erste ist, von dem wir Versuchsergebnisse besitzen, so hat man irrtümlicher Weise dies so dargestellt, als sei er der erste oder einer der ersten gewesen, welcher Versuche gemacht habe²⁾. Die Ergebnisse seiner Arbeiten hat er in seiner Optik niedergelegt³⁾, den Apparat, den er zu seinen Versuchen benutzte, stellt nach seiner Beschreibung Fig. 60 dar. Er tauchte einen in 360° getheilten Kreis, der zwei um eine Achse drehbare, mit Öffnungen versehene Lineale trug, bis zur Mitte in Wasser und rückte das untere Lineal so, dass die Stifte *b*, *c* und *g* eine gerade Linie *bch* zu bilden schienen. Dann nahm er den Kreis aus dem Wasser und verglich die Winkel *fb* und *ga*. Er fand als zusammengehörige Werte die folgenden:

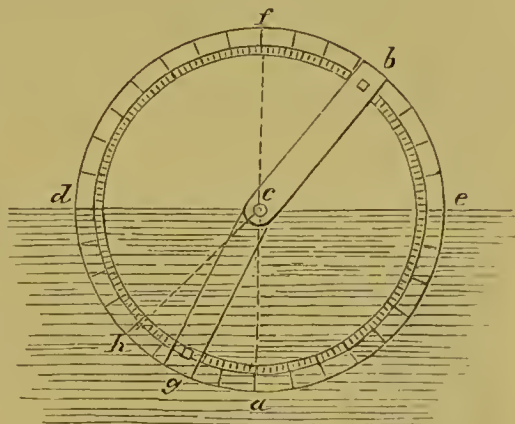


Fig. 60.

Einfallswinkel	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Brechungswinkel	8°	$15\frac{1}{2}^\circ$	$22\frac{1}{2}^\circ$	28°	35°	$40\frac{1}{2}^\circ$	45°	50°

woraus sich ein Brechungskoeffizient zu 1,311 mit einem mittleren Fehler von 0,014 ergeben würde. Was also mit seinem einfachen Apparate zu erreichen war, hatte Ptolemaios erreicht. Das Gesetz, dass bei der Brechung aus dem weniger dichten in das dichtere Mittel der Strahl zum Einfallslote hin, bei umgekehrter Anordnung von ihm weg gebrochen wird, ermittelte er aus seinen Versuchen.

Ptolemaios war der letzte Alexandriner, welcher selbständig arbeitete. Zwar blieb das Museum bestehen, aber seine Mitglieder beschäftigten sich außer mit gelegentlichen mathematischen Untersuchungen nur noch mit dem Studium und der Auslegung dessen, was ihnen ihre Vorgänger hinterlassen

1) Sextus Julius Frontinus, De aquis urbis Romae. Rec. Buecheler. Lipsiae 1858.

2) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 27.

3) Ptolemaios, Optica. Buch V. — Delambre, Connaissance du temps. 1816.

hatten. Die gelehrte Tochter des Mathematikers Theon, die unglückliche Hypatia, müssen wir gleichwohl noch erwähnen, freilich nicht um ihrer Arbeiten willen, als aus dem Grunde, dass ein Brief des Bischofs von Ptolemais, Synesios, an sie erhalten ist, in welchem zum erstenmale des Aräometers, und zwar des Volumenaräometers, gedacht wird.

Folgendes ist der Wortlaut dieses Briefes¹⁾: »So ganz übel befinde ich mich, dass ich ein Hydroskopium nötig habe. Gieb den Auftrag, dass es hergestellt und angekauft werde. Die Röhre ist cylindrisch und hat die Gestalt und Größe einer Flöte. Sie enthält auf einer geraden Linie die Einschnitte, mit denen wir das Gewicht der Flüssigkeiten prüfen. Als Deckel verschließt sie ein in horizontaler Lage befindlicher Zapfen, so dass die Grundfläche beider, des Zapfens und der Röhre, die nämliche ist. Das nun ist das Instrument zur Messung der Schwere. Jedesmal wenn du die Röhre in Wasser hinablässest, wird sie aufrecht stehen und wird dich die Einschnitte zählen lassen. Diese aber sind die Erkennungszeichen des Gewichtes«.

Das Baryllium, wie Synesios das Instrument nennt, hatte demnach die in Fig. 61 gegebene Form, und aus seinem Briefe scheint zu folgen, dass es damals etwas ganz Neues gewesen sein müsse, denn sonst hätte der das Instrument bedürfende Bischof doch nicht nötig gehabt, es seiner gelehrten Freundin so genau zu beschreiben. Dem stehen aber die Ansichten derer gegenüber, welche dem Archimedes sowohl die Aufstellung des Begriffes des spezifischen Gewichtes wie auch die Erfindung des Aräometers zuschreiben. Zur Begründung dieser Annahmen berufen sie sich auf ein Gedicht, welches unter dem Titel: *De Ponderibus et Mensuris* sich zwar meist den Werken des Grammatikers Priscianus, der um 500 in Konstantinopel lebte, angefügt findet, doch aber von einem Zeitgenossen des Kaisers Tiberius, der bald Rhemnius Fannius Palaemon, bald Favinus oder



Fig. 61.

Favinianus genannt wird, herrühren soll. Um über die Zeit der Erfindung des Aräometers zu entscheiden, wird man also zunächst suchen müssen, das Alter jenes Gedichtes zu bestimmen, sodann aber zu prüfen haben, ob andere Schriftsteller der ersten Jahrhunderte derartige Instrumente oder wenigstens den Begriff des spezifischen Gewichtes kennen.

Hinsichtlich des Verfassers und Alters der Schrift: *De Ponderibus et Mensuris* wird für uns die Ansicht, welche Hultsch²⁾ ausspricht, maßgebend sein. Er glaubt nicht, dass das Gedicht von Priscianus herrührt, sondern von einem unbekannten Verfasser. Die Frage nach der Zeit seiner

1) Joh. Christ. Wolfius, *Mulierum Graecarum Fragmenta et Elogia*. Göttingen 1739. S. 74. S. auch *Epistolographi graeci*. Rec. Hercher. Paris 1873.

2) Fr. Hultsch, *Metrologicorum scriptorum Reliquiae*. Scriptores Romani. 2. Bd. Lipsiae 1866. § 118. S. 26.

Abfassung lässt er unentschieden, hält es aber für das wahrscheinlichere, dass das Gedicht am Ende des 4. oder Anfang des 5. Jahrhunderts n. Chr. entstanden sei. So wird es denn für uns von besonderer Wichtigkeit sein, die Zeugnisse der Schriftsteller aus der obengenannten Zeit zu prüfen, und glücklicherweise berühren sowohl Seneca, wie Plinius und Galen die Frage in einer Weise, die klar zeigt, dass der Begriff des spezifischen Gewichtes ihnen noch nicht bekannt war. Wie hätte sonst der erstgenannte sich so schwerfällig ausdrücken können, wie er es bei Erörterung der Frage der schwimmenden Körper that. »Jedwedes Ding«, sagt er¹⁾, »wäge ab und stelle es Wasser gegenüber, bis beider Raummenge gleich ist. Ist nun das Wasser schwerer, so wird es den Gegenstand tragen, der leichter als es selbst ist, und es wird ihn so weit über sich herausheben, als er leichter ist: das schwerere wird hinabsinken. Wenn dagegen das Gewicht der Wassermenge und des gleich großen Dinges das nämliche ist, wird letzteres nicht nach dem Boden gehen, noch herausragen, sondern mit dem Wasser im Gleichgewichte bleiben: es wird zwar schwimmen, aber fast in das Wasser eingetaucht, und so, dass es an keinem Teile herausragt. Das ist der Grund, warum gewisse Balken über dem Wasser, fast ganz herausgehoben, getragen werden, warum andere bis zur Hälfte untergetaucht sind, andere so weit einsinken, dass ihre Oberfläche im Niveau des Wassers liegt«. Fast noch mehr beweisen die Worte des älteren Plinius²⁾: »Einige geben sich vergebliche Mühe, die Zuträglichkeit (des Wassers) mit der Wage zu untersuchen, da es sehr selten ist, dass eines leichter sei«. Denn gerade zu diesem Zwecke wollte ja Synesius das Aräometer benutzen. Und dass auch im 2. Jahrhundert n. Chr. das bequeme Instrument noch unbekannt war, folgt aus dem bereits erwähnten Versuche Galens³⁾ mit dem Ei und der Salzlake, über den er sich äußert: »Aber man hat bereits für das Einsalzen ein Maß dafür angegeben, dass die vorhandene Lake gehörig gemischt ist, wenn es sich zeigt, dass ein Ei darin schwimmt; sinkt es noch hinab und schwimmt noch nicht an der Oberfläche, so ist die Lake zu wässerig und süß«.

Die Beschreibung des Aräometers durch Synesius ist also die älteste, die auf uns gekommen ist. Das Instrument ist demnach wohl erst im 4. Jahrhundert n. Chr. aufgekomen und zuerst zu medizinischen Zwecken benutzt. Viel früher kann der Begriff des spezifischen Gewichtes also auch nicht festgesetzt worden sein⁴⁾. Darauf weisen die angeführten Stellen auch insofern hin, als die darin ausgesprochenen Gedanken nur wenig weiter

1) Seneca, a. a. O. Lib. III. 25, 5f.

2) Plinius Secundus, Nat. hist. XXXI, 38.

3) *Γαλήνον περὶ χράσεως καὶ δυνάμεως τῶν ἀπλῶν φαρμάκων*. Opera omnia. Ed. Kühn. Vol. XI. S. 691.

4) Vgl. Gerland, Zur Geschichte der Erfindung des Aräometers. Wiedemanns Annalen. I. Leipzig 1877. S. 150.

geführt werden müssen, um sowohl den Begriff des spezifischen Gewichtes als auch das Ariometer zu ergeben.

II.

Geschichte der Experimentierkunst im Mittelalter.

Die Byzantiner und Araber.

Mit der Aufnahme der Idee der Weltherrschaft hatte das Römerreich seine Daseinsbedingungen immer mehr untergraben. Die Bestrebungen, seine Grenzen nach allen Seiten ins Ungemessene auszudehnen, hatten jugendkräftige, aber noch ganz kulturlose Völkerschaften mit den Schätzen der Kultur bekannt gemacht, ihre Einstellung in die römischen Heere Gefahren auch im Innern des Reiches heraufbeschworen. Woher aber sollte dieses die Kraft nehmen, solche zu bestehen? Es war morsch geworden und den Forderungen der Zeit nicht gewachsen geblieben. Die griechische Philosophie befriedigte nicht mehr die Sehnsucht nach Glück in der Menschenseele. Wohl wurde sie noch in den Schulen geübt, wohl beschäftigte sich noch mit ihr, wen seine günstige Lebensstellung vor der Not des Daseins sicherte, aber eine Macht über die Geister übte sie nicht mehr aus und die von der Not immer härter bedrängten suchten immer dringender Hilfe. Ihnen gewährte sie das Christentum, indem es ihr Sinnen und Trachten von dieser Welt abkehrte. Feindselig trat es mit Notwendigkeit der innerlich erstorbenen Philosophie entgegen, deren Jünger ja Heiden waren, und in ihnen wankten die letzten Stützen des Reiches. Zunächst zerfiel es in eine östliche und westliche Hälfte. Während diese bald den Angriffen der germanischen Völker unterlag, fristete jene noch während eines weiteren Jahrtausends ein in Äußerlichkeiten längst erstarrtes Dasein.

Solche Verhältnisse waren nicht geeignet, die Pflege der Wissenschaften zu fördern. Denn sie schien eins zu sein mit dem, was die aufstrebenden Mächte als der Vernichtung geweiht erachteten, und wie groß die Verluste sind, welche sie der Wissenschaft zugefügt haben, ist in der Mangelhaftigkeit der Berichte, welche in den vorhergehenden Abschnitten unserer Schilderung so oft zu beklagen war, zur Genüge hervorgetreten. Zu Anfang des fünften Jahrhunderts zerstörten fanatische Mönche mit den heidnischen Tempeln und Bibliotheken auch die des Serapeums in Alexandrien, wo Ptolemaios gearbeitet hatte, und wenn damals auch in Byzanz eine höhere Lehranstalt gegründet wurde, so sah die Zeit des ersten Justinian die altberühmten Schulen Athens und Alexandriens schließen, ihre Lehrer vertreiben. Was wollten dagegen die Leistungen jenes Leo (um 850) bedeuten, dessen Automaten in Alexandrinischen Werken ähnlicher Art ihre Vorbilder hatten. Die Pracht der Ausführung musste ihren Mangel an Originalität verdecken, und wenn sie ihm auch Ruhm genug einbrachten,

wenn man ihm den Besitz geheimer Zauberkünste nachrühmte in einer Zeit, wo es an Besserem fehlte, hatte das wenig zu bedeuten. Gewiss, sie lassen erkennen, dass die Technik eher vorwärts wie rückwärts gegangen war, aber sie zeigen auch, dass die Wissenschaft Fortschritte nicht anzuweisen hatte.

Den einen Vorteil hatten in einzelnen Fällen die traurigen, namentlich auch religiösen Zwistigkeiten, dass sie, indem die Sieger die Unterliegenden verbannten, diese die Schätze der Kultur weithin verbreiten ließen. So brachte die Vertreibung des Patriarchen von Konstantinopel, des Antiochiers Nestorins und seiner Anhänger in der Mitte des 5. Jahrhunderts nach Persien die Schätze griechischer Wissenschaft in den fernen Osten, von wo ihre Vertreter, später an den Hof der Abbasiden gerufen, wohl mit zu dem Aufschwunge, den die Wissenschaft in Bagdad nahm, beigetragen haben mögen. Dort hatten die Herrscher der Araberscharen, die der Glaube an die Lehre Muhammeds zu wilder Eroberungswut begeistert hatte, sich nach Besitzergreifung eines großen Teiles des alten Römerreiches dauernd niedergelassen, nur in Spanien hatten sie sich nicht behaupten können. Es bildete ein Kalifat für sich. Hier wie dort suchten nun die Kalifen ihren Gebieten die Segnungen des Friedens zu bringen, und die Pflege der Wissenschaften war es vor allem, die sie sich angelegen sein ließen. Haben sie uns so in arabischen Übersetzungen manche Werke griechischer Schriftsteller, welche im Urtext uns verloren gegangen sind, erhalten, so haben sie doch auch andererseits selbständige Forschungen aufzuweisen, welche befruchtend wirkten und die germanischen Völker zur Weiterbildung aufforderten, nachdem auch diese nach mannigfachen Heerfahrten sich in den eroberten Gebieten dauernd festgesetzt hatten.

Vor allen anderen Naturwissenschaften war es die eigentlichste Lehre Ägyptens, die Chemie, die die Araber selbständig bearbeiteten, und nicht wenige in ihr noch übliche Bezeichnungen weisen auf die durch jene bedingten Fortschritte zurück. Schon der erste ihrer bedeutenderen Forscher, der 702 in Mesopotamien, nach anderen in Chorasán geborene Abû Mnsâ Dschâbir, den das Abendland unter dem Namen Geber kannte, übte sie am Hofe zu Cordova mit großem Erfolge. Neben der Chemie waren es die optischen Probleme und die Methoden zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes, womit sich die Araber mit Vorliebe beschäftigten.

Wenn Leo Africanus, der im 15. Jahrhundert schrieb, uns recht berichtet, so war Geber von christlichen Eltern geboren und erst später zum Islam übergetreten. Er lernte mehrere Metalle, die den Alten noch unbekannt gewesen waren, wenigstens in ihren Erzen kennen, verstand es, Metalle zu oxydieren und zu legieren, war mit den Schwefelverbindungen einigermaßen vertraut, stellte aus Alaun und Essig Schwefelsäure dar und gewann aus Salpeter und Schwefelsäure die Salpetersäure. Dazu musste er die Destillation verwenden, welche er, wie die Umkrystallisation und das Filtrieren, auch zum Reinigen seiner Präparate nötig hatte. Noch war

seine Zeit geneigt, nach dem Vorgange der Griechen alle Kräftewirkungen auf geistige Kräfte zurückzuführen, und auch er hegte diese Ansicht, in der er bestärkt wurde durch die folgende Beobachtung am Magneten: »Ieh hatte«, schreibt er ¹⁾, »einen Magneteisenstein, der 100 Dirhem Eisen aufhob. Ieh ließ ihn einige Zeit liegen und näherte ihn einem anderen Eisenstücke und er trug dieses nicht. Ieh glaubte, das zweite Eisenstück sei schwerer wie 100 Dirhem, die er doch zuerst trug, und wog es, und siehe da, es wog nur 80 Dirhem. Es hatte also die Kraft des Magneten abgenommen, seine Größe aber war unverändert geblieben«.

Mit der Optik hat sich namentlich beschäftigt und seine erhaltenen Ergebnisse auf das weitläufigste beschrieben der 1038 in Ägypten verstorbene Abû Alî Muhammed ben el Hasan ibn el Haitam el Basri, den das Abendland Al Hazen nannte und der mehrfach mit dem etwas jüngeren Cordovanischen Arzte Abd el Rahman ben Ishak ben el Haitam verwechselt worden ist ²⁾. Von Al Hazens umfassendster optischer Schrift, die das ganze Gebiet dieses Teiles der Physik, so weit es damals bekannt war, behandelt, findet sich ebenfalls eine arabische Handschrift in Leiden. Im Abendlande wurde sie durch die Übersetzung bekannt, welche 1572 Risner ³⁾ herausgab und welche, wenn auch meist in etwas kürzerer Fassung, den Urtext genau wiedergibt. Auch die mitgeteilten Figuren sind bis auf eine in der Handschrift enthalten ⁴⁾. Von Al Hazens sonstigen Arbeiten sind für uns noch seine Abhandlungen über das Licht ⁵⁾ und über die Brennkugel ⁶⁾ von Wichtigkeit.

Al Hazens Optik enthielt die Lehre vom Sehen (Orthoptik), die Reflexion und die Brechung des Lichtes. Das Sehen geht nach seiner Ansicht so vor sich, dass ein Bild vom Gesehenen sich zum Auge fortpflanzt, und die Einheit der Bilder in beiden Augen kommt dadurch zu stande, dass die entstandenen Bilder sich in dem gemeinsamen Sehnerven vereinigen und daher auf die Seele den Eindruck eines einzigen machen. Von dem Auge selbst, dessen Beschreibung er aus anatomischen Schriften entlehnt

1) Buch der Barmherzigkeit in Cod. 440 Gol. der Leydener Bibliothek. Fol. 87 v bis 95 r; in Übersetzung mitgeteilt von E. Wiedemann in Wied. Ann. 1878. Bd. IV. S. 320.

2) E. Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften bei den Arabern. VII. Wied. Ann. 1882. Bd. 17. S. 350.

3) *Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri VII nunc primum editi. Ejusdem liber de Crepusculis et nubium ascensionibus. Item Vitellionis Thuringopoloni libri X. Omnes instaurati figuris illustrati et aucti adjectis etiam in Alhazenum commentariis a Frederico Risnero.* Basileae 1572; vgl. auch L. Schnase, Die Optik Alhazens. Progr. des Friedr. Gymn. zu Stargard 1889.

4) E. Wiedemann, Zur Geschichte der Brennspiegel. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 114.

5) E. Wiedemann, Über »Die Darlegung der Abhandlung über das Licht« von Ibn al Haitam. Wied. Ann. 1883. Bd. 20. S. 337. Auch Baarmann, Ibn al Haitams Abhandlung über das Licht. Inaug.-Diss. Halle 1882 und Ztschr. d. deutsch. morgenländ. Gesellschaft. 1882. Bd. 36. S. 195.

6) E. Wiedemann, Beiträge zur Gesch. der Naturwissenschaften bei den Arabern. V. Wied. Ann. 1879. Bd. VII. S. 679.

habe, wie er sagt, giebt er keine ausführliche Zeichnung, die in Fig. 62 mitgeteilt ist von Risner nach seinen Andeutungen hergestellt. Danach besteht das Auge aus drei Flüssigkeiten, dem humor albugineus (aqueus der Figur), dem humor crystallinus (der Krystalllinse) und dem humor vitreus, welche beiden ursprünglich unter der Bezeichnung des humor glacialis zusammengefasst waren, und den sie umhüllenden Häuten, der Tunica consolidativa (jetzt Sclerotica), der cornea, nvea und retina.

Da durch die Zerstörung der Krystalllinse das Auge seine Sehkraft einbüßt, so betrachtete Al Hazen sie als den eigentlich empfindenden Teil des Auges. Er verlegt sie in dessen Mittelpunkt und nimmt an, dass nur solche Strahlen, welche senkrecht seine Oberfläche trafen und also, weil ungebrochen hindurchgehend, seinen Mittelpunkt mit dem sie aussendenden Punkte des Gegenstandes verbanden, Ursache einer visio distincta, eines scharfen Bildes, werden könnten. Die Gesamtheit dieser Strahlen bilden die *pyramis optica*, die Sehpyramide, deren Spitze im Augenmittelpunkte

liegt, während ihre Grundfläche die Oberfläche des Gegenstandes ist. Ihre Achse ist die Augenaehse. Indessen können auch andere Strahlen zum Sehen, aber nicht zum distinkten Sehen beitragen. Ein Mittel zum Vergrößern des Bildes eines Gegenstandes bietet ein Glaskugelsegment, wenn man dessen gerade Fläche dicht an den Gegenstand halte, die gewölbte dem Auge zukehre. Eigentümlich ist die Folgerung, die er aus der ihm bekannten Wirkung des Farbenkreisels zieht, dessen Farben bei schneller Drehung zu einer aus jenen gewissermaßen gemischten würden. Nicht auf eine längere Dauer des Reizes, sondern auf eine längere für die Fortpflanzung des Lichtes nötige Zeit schließt er daraus, und kam so zu einer Annahme, welche ihn in Gegensatz zu allen seinen Vorgängern auf optischem Gebiete setzte.

Die vorgeführte Ansicht über das Sehen setzt aber die Fortbewegung des Lichtes in geraden Linien voraus, die Al Hazen durch folgenden Versuch nachzuweisen sucht. »Wenn¹⁾ das Licht der Sonne«, schildert er

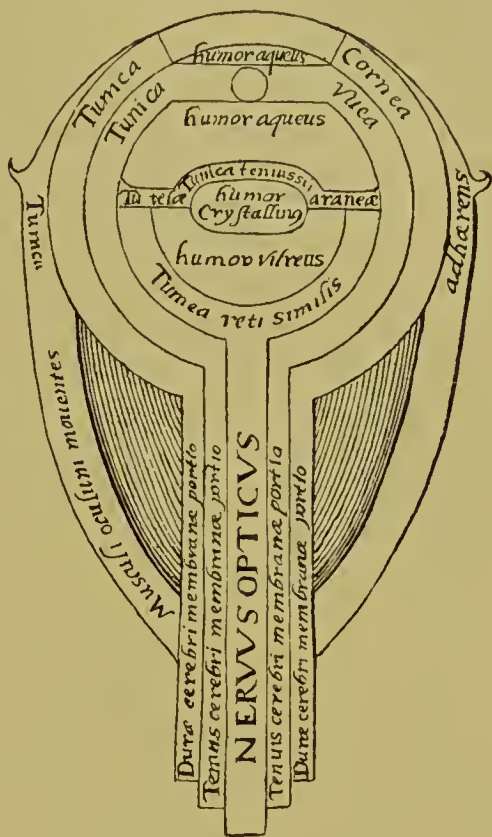


Fig. 62.

1) Ibn Al Haitams Abhandlung über das Licht, übersetzt von Baarmann, a. a. O. S. 15.

ihn, »oder das Licht des Mondes, oder das Licht des Feuers durch einen mäßigen Spalt in ein dunkles Zimmer eintritt, und es ist in dem Zimmer Staub, oder es wird Staub im Zimmer aufgeregt, so wird das durch den Spalt eintretende Licht in dem mit der Luft vermischtem Staube ganz deutlich sichtbar; und es wird auf dem Boden oder an der dem Spalt gegenüberstehenden Wand des Zimmers sichtbar. Und man findet das Licht von dem Spalt bis auf den Boden oder bis zu der dem Spalt gegenüberstehenden Wand auf geradlinigen Bahnen vordringend. Und wenn man an dieses sichtbare Licht zur Vergleichung einen geraden Stab hält, so findet man das Licht in der geraden Richtung des Stabes vordringend. Ist aber im Zimmer kein Staub und das Licht erscheint auf dem Boden oder auf der dem Spalt gegenüberstehenden Wand, und wird dann zwischen das sichtbare Licht und den Spalt ein gerader Stab gestellt, oder zwischen beiden ein Faden fest angespannt und dann zwischen das Licht und den Spalt ein undurchsichtiger Körper gestellt, so wird das Licht auf diesem undurchsichtigen Körper sichtbar und verschwindet von der Stelle, an der es sichtbar war. Wenn man dann den undurchsichtigen Körper in der Raumstrecke hin und her bewegt, welche die gerade Richtung des Stabes einhält, so findet man das Licht immer auf dem undurchsichtigen Körper sichtbar. Es ist somit hieraus klar, dass das Licht von dem Spalt bis zu der Stelle, an der es sichtbar ist, auf geradlinigen Bahnen vorwärts geht.«

Ebenso sorgfältig untersucht Al Hazen die gestörte Fortpflanzung des Lichtes durch Reflexion und Brechung. Sieben verschiedene Arten von Spiegeln unterscheidet er, ebene, konvex und konkav sphärische, konvex und konkav cylindrische und konvex und konkav kegelförmige.

Die Versuche, welche er zum Nachweis der Richtigkeit des Reflexionsgesetzes anstellte, haben für uns nur insofern Interesse, als sie uns zeigten, dass die zu solchen nötigen Apparate in damaliger Zeit etwas ganz ungewohntes waren. Es genügt, wenn wir ganz kurz darauf eingehen.

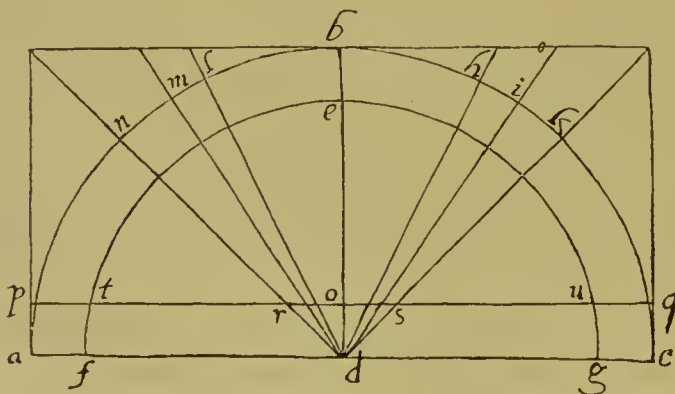


Fig. 63.

In Fig. 63 stellt das Rechteck eine eiserne Tafel von etwa 24 cm Länge (ac) und 12 cm Breite (db) vor, aus der der Halbkreis abc herausgeschnitten worden ist. Auf demselben wird der konzentrische Halbkreis feg gezogen, von 10 cm Halbmesser, sodann die Linien nd und dk , so dass sie die Hälften des

Halbkreises halbieren und eine beliebige Menge anderer Linien md , ld , hd , id u. s. w., so dass $bh = bl$, $bi = bm$ u. s. w. wird. Darauf

werden die Stücke *pard* und *qesd* weggeschnitten und dafür gesorgt, dass das übrig bleibende Dreieck *rds* bei *d* sorgfältig zugeshärft wird. Um diese Messingplatte für die Versuche aufnehmen zu können, wird nun aus einem 14 em hohen Holzblock ein Hohleylinder ausgearbeitet von einem leichten Durchmesser von 10 em Halbmesser und in 4 em Höhe eine Vertiefung ausgestemmt, in welche der eiserne Halbkreis gelegt werden kann. Das ganze wird auf einem Fußbrett mittels einer in dieses gearbeiteten ringförmigen Vertiefung, in welche der Hohleylinder passt, eingesetzt. Seine Theilungen werden über die Stirnfläche des Hohleylinders auf dessen äußeren Mantel übertragen und von diesem aus etwa 3 mm weite Öffnungen so in die Cylinderwand gebohrt, dass ein hindurch gesteckter Holzstab längs der Linien *nd*, *md* u. s. w. die obere Fläche der eisernen Scheibe berührt. Wird nun in die Bodenfläche parallel der Linie *pq* der in den Hohleylinder eingesetzten eisernen Scheibe eine Vertiefung zu der Aufnahme eines senkrechten Brettchens, auf das dann der zu untersuchende Spiegel gesetzt wird, gestellt und durch eines der Löcher auf der einen Seite Licht fallen lassen, so sieht es der Beobachter durch die entsprechende Öffnung auf der anderen Seite. Die Spiegel waren aus Eisen, die krummflächigen aus einer Kugel-, Cylinder- oder Kegelfläche von entsprechender Größe herausgeschnitten, und mit Ausnahme der Kugel so aufgestellt, dass ihre Seitenlinien senkrecht zum Grundbrette standen. Für alle diese Spiegel fand AlHazen das Reflexionsgesetz bestätigt.

Die Beschreibung des Apparates, mittels dessen Al Hazen die Brechung der Lichtstrahlen untersuchte, geben wir nach E. Wiedemanns¹⁾ etwas abgekürzter Übersetzung der lateinischen

Wiedergabe des Urtextes, wie sie sich bei Risner findet. Die Fig. 64 ist die Originalfigur aus der Leydener arabischen Handschrift. Zu deren

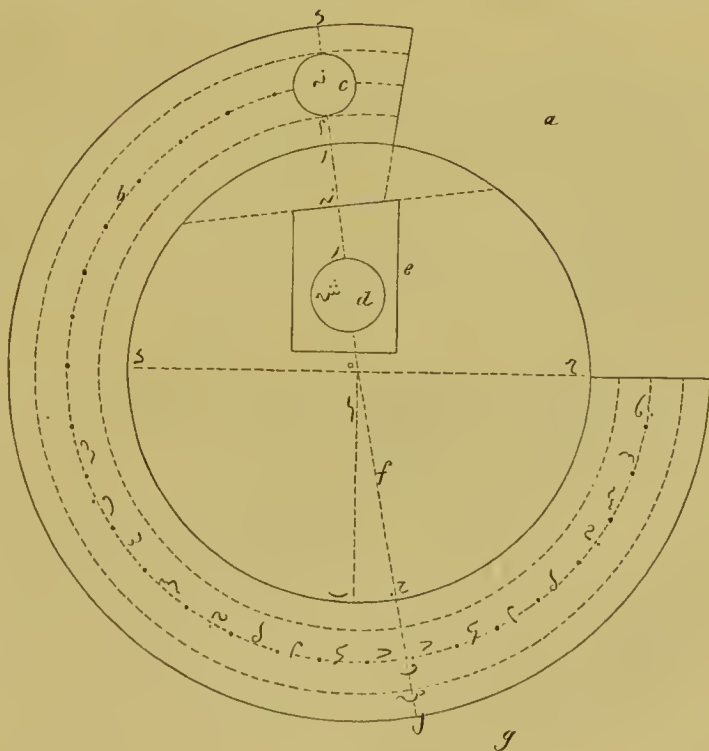


Fig. 64.

1) E. Wiedemann, Über den Apparat zur Untersuchung und Brechung des Lichtes von Ibn Al Haitam. Wied. Ann. 1884. Bd. 21. S. 541.

Verständnis muss festgehalten werden, dass der innere Kreis als der Ebene der Zeichnung parallel gedacht ist, die zum Teil weggeschnittenen konzentrischen Kreise und das Viereck *e* aber als auf dieser Ebene senkrecht stehend angenommen werden, so dass diese konzentrischen Kreise einen zum Teil fehlenden aufrechten Rand der Scheibe vorstellen. Zum besseren Verständnis fügen wir den Apparat bei (Fig. 65), wie er sich aus der Beschreibung in der uns gewohnten Darstellungsweise ergibt¹⁾.

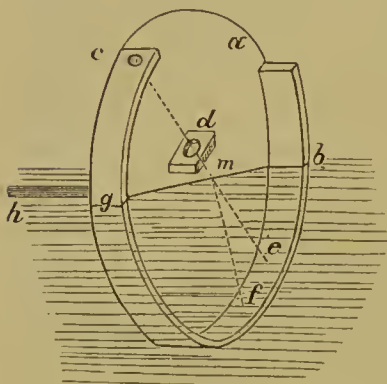


Fig. 65.

In folgender Weise will ihn Al Hazen verfertigen: »Man nimmt²⁾ eine runde, ziemlich starke Scheibe aus Kupfer von wenigstens einer Elle³⁾ Durchmesser. Sie muss einen Rand haben, der senkrecht auf ihre Oberfläche steht und wenigstens drei Finger breit ist. In der Mitte des Rückens der Scheibe muss sich eine kleine, runde Säule von wenigstens drei Finger Länge befinden, die senkrecht auf der Oberfläche der Scheibe steht.

Dieses Instrument befestigen wir so auf der Drehbank, auf der die Drechsler ihre Kupfergeräte drehen, dass die eine Spitze derselben auf die Mitte der Scheibe, die andere auf die Mitte der kleinen Säule kommt, und drehen den Apparat solange ab, bis die Ränder innen und außen vollständig kreisrund und glatt sind, und die kleine Säule auch kreisrund ist. Hierauf ziehen wir auf der inneren Oberfläche des Instrumentes zwei aufeinander senkrechte Durchmesser, dann bezeichnen wir einen Punkt auf der Basis des Randes des Instrumentes, dessen Abstand vom Ende eines der beiden Durchmesser eine Fingerbreite beträgt. Von diesem Punkte aus ziehen wir einen dritten Durchmesser durch die Mitte der Scheibe. Dann ziehen wir von den beiden Enden dieses Durchmessers aus zwei Linien auf dem Rande senkrecht zur Oberfläche der Scheibe. Auf der einen dieser beiden Linien bezeichnen wir von der Scheibe aus drei etwa um die Länge eines halben Gerstenkornes voneinander abstehende Punkte und ziehen auf der Drehbank durch diese Punkte drei voneinander gleichweit abstehende Kreise, die natürlich die gegenüberliegende kurze Linie gleichfalls in drei gleichweit voneinander abstehenden Punkten schneiden. Dann teilt man den mittleren Kreis (*b*) in 360 Grade und womöglich noch in Minuten. In den Rand bohrt man ein kreisförmiges Loch (*c*), dessen Mittelpunkt der mittlere der obigen drei Punkte ist, und dessen Durchmesser gleich dem Abstand der beiden äußersten ist. Nun nehmen wir ein mäßig dünnes, genau rechteckiges ebenes Stück Blech *d* von der Höhe des Randes und

1) Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892. S. 49.

2) Nach Risner, a. a. O. S. 231—233.

3) Eine Elle = 24 Zoll, ein Zoll = 6 Gerstenkörner. 89 Gerstenkörner sind etwa 0,31 m. Es beträgt also 1 Zoll etwa 2 cm und 1 Elle etwa 48 cm.

etwa gleicher Breite. Von der Mitte der einen Seite ziehen wir eine zu dieser senkrechte Linie, auf der wir drei Punkte, die gleichweit voneinander abstehen, bezeichnen. Ihr Abstand a sei dabei gleich den Abständen je zweier der Kreise auf dem Rande. Wir bohren dann in die Platte ein rundes Loch, dessen Mittelpunkt dem mittleren der obigen Punkte entspricht und dessen Radius gleich dem Abstände a ist. Wir erhalten so ein Loch, das vollkommen mit dem im Rande des Instrumentes korrespondiert. Darauf sucht man den Mittelpunkt des Radius, welcher den Mittelpunkt der Scheibe mit der Linie auf dem Rande verbindet, auf welcher sich das Loch befindet und zieht durch ihm eine Senkrechte zu dem Radius; längs dieses befestigt man nun vollkommen fest das kleine Blech, so dass die Mitte desselben genau auf den Radius zu liegen kommt, die kleine Öffnung in ihm liegt dann genau derjenigen auf dem Rande gegenüber.« Und weiter: »Hierauf schneidet man aus dem Rande des Instrumentes dasjenige Viertel aus, welches an das Viertel sich anschließt, in welchem sich das Loch befindet, und welches durch die zwei ersten Durchmesser bestimmt ist und gleicht den Rand genau ab. Hierauf nimmt man ein quadratisches Stück Metall, von eher mehr als einer Elle Länge und feilt die Flächen desselben möglichst senkrecht zu einander ab. In der Mitte desselben bohrt man ein Loch senkrecht zu der einen Fläche, so dass sich der oben erwähnte säulenförmige Teil schwierig in demselben drehen lässt. In dieses Loch setzt man den säulenförmigen Teil ein. Von dem Metallstück schneidet man soviel ab, dass es gleich steht mit dem Rande der Scheibe und legt die beschnittenen Enden auf die Enden des Metallstückes und verbindet sie mit demselben. Zweckmäßig ist es, durch das Ende der kleinen Säule, die aus der Öffnung im quadratischen Stück hervorragt, einen kleinen Stift zu treiben.«

So ist es möglich, das Instrument soweit in eine Flüssigkeit zu tauchen, dass deren Oberfläche genau mit einem seiner Durchmesser zusammenfällt. Treten dann Sonnenstrahlen durch die beiden Öffnungen, so kann man leicht beobachten, wo sie im Wasser den geteilten Rand treffen und somit Einfallswinkel und Brechungswinkel leicht ablesen.

Von dem hier beschriebenen Apparate giebt auch Risner in dem »Opticae Thesaurus« eine Figur (Fig. 66, S. 68), die aber wenig geeignet ist, dem Leser eine deutliche Vorstellung von der Konstruktion desselben zu verschaffen. Wir haben sie hier aufgenommen, weil sie einiges historisches Interesse in Anspruch nimmt.

Die Ergebnisse, die Al Hazen mit diesem Apparate erhielt, hat er in der Abhandlung über das Licht auseinander gesetzt. Nach der Übersetzung von Baarmann¹⁾ drückt er sich dort folgendermaßen aus: »Zwei durchsichtige, an Durchsichtigkeit verschiedene Medien seien gegeben und der

1) Baarmann, a. a. O. S. 33 u. 34.

Punkt A (Fig. 67) liege in dem dünneren Medium, und durch den Punkt A sei eine ebene Fläche gelegt, die auf der Oberfläche des dichteren Mediums rechtwinkelig steht, und der Schnitt, der beiden Flächen gemeinsam ist, ich meine, der konstruierten ebenen Fläche und der Oberfläche des dichteren Mediums, sei die Linie BC und die sei gerade. Und wir ziehen vom Punkte A den Strahl AE , der falle schief auf BC und sei gebrochen nach der Linie EG , und errichten im Punkte E ein Lot auf der Fläche des dichteren Mediums, das sei EH und verlängere AE geradlinig bis W . Dann ist der Winkel GEW konstruiert, der offenbar der Ablenkungswinkel

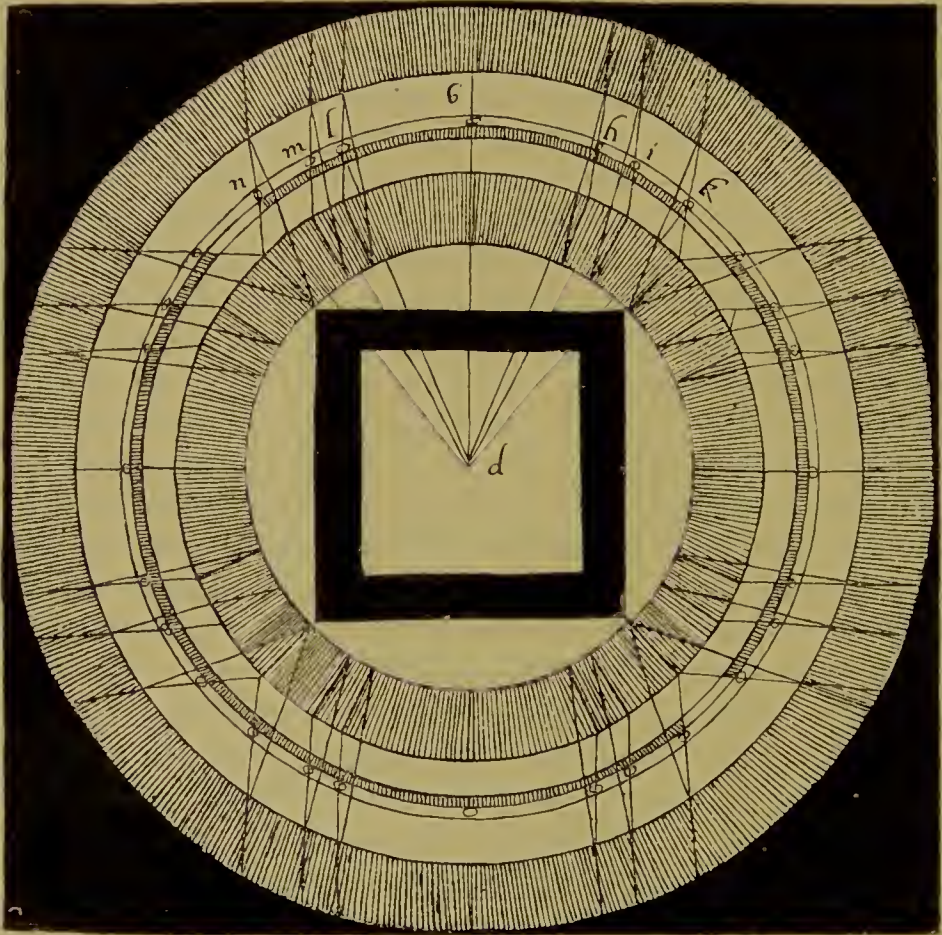


Fig. 66.

ist. Wenn nun aber ein Strahl nach der Linie GE gezogen wird, so wird er nach der Linie EA gebrochen. Fällt man das Lot HE , so wird, wenn das dünnere Medium, in dem A liegt, ein noch dünneres Medium ist, der Strahl GE nach einer Linie gebrochen, die weiter vom Lote ET absteht. Dann möge die Brechung in dem Medium, das stärker durchsichtig ist, nach der Linie EK geschehen. Der Strahl aber, der sich im dichteren Medium ausbreitet und nach der Linie EA gebrochen wird, die dem Lote TH näher ist, dieser Strahl sei der Strahl DE , der nach der Linie EA gebrochen wird. Wenn sich nun ein Strahl nach der Linie AE ausbreitet

und das dünnere Medium ist das [angenommene] zweite Medium, das stärker durchsichtig ist, so wird er nach der Linie ED gebrochen. Wenn aber das dünnere Medium, in dem der Punkt A liegt, noch durchsichtiger ist als das dünnere zweite Medium, so wird der Strahl, der sich in dem dichteren Medium ausbreitete und nach der Linie EA gebrochen wurde, wenn das durchsichtige dünnere Medium das dritte Medium ist, aus der Richtung einer Linie gebrochen, die seinem Lote noch näher liegt, als die Linie ED . Ebenso oft das dünnere Medium an Düntheit und

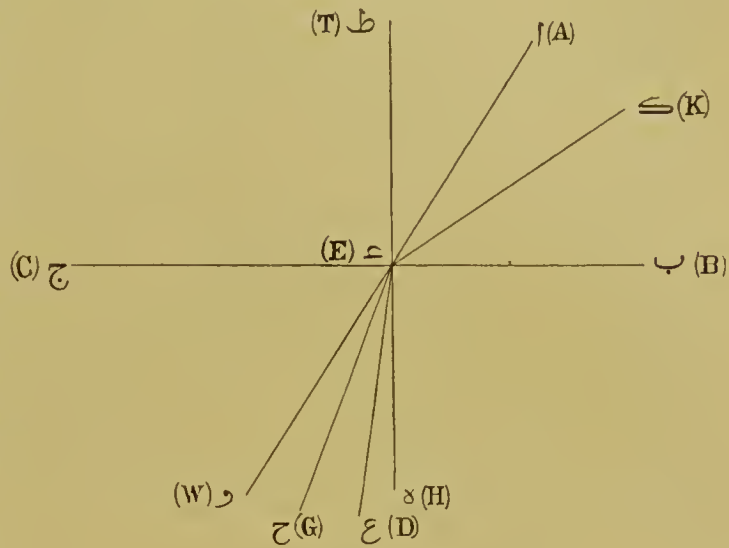


Fig. 67.

Durchsichtigkeit zunimmt, wird er nach einer Linie gebrochen, die seinem Lote EH näher liegt; und so oft der gebrochene Strahl der Linie EH näher kommt, wird der Winkel HED kleiner, und es steht der Winkel, der zwischen dem gebrochenen Strahl und dem Lote entsteht, im Verhältnis zur Durchsichtigkeit in dem dünneren Medium. Daraus folgt notwendig, dass das Wie der Durchsichtigkeit nur im Verhältnis zum Winkel im Brechungspunkte steht.«

Was das sagen will, ergibt sich aus den Anschauungen, die sich Al Hazen von der Durchsichtigkeit macht. Er teilt die durchsichtigen Körper in die ätherischen und die unterhalb des Äthers. »Die ätherischen¹⁾ bestehen aus einer einzigen Art, da sie nur eine einzige Beschaffenheit besitzen. Die unter dem Äther befindlichen bestehen aus drei Klassen, erstens aus der Luft, zweitens dem Wasser und den durchsichtigen Flüssigkeiten, zu denen das Eiweiß und die durchsichtigen Flüssigkeiten des Auges gehören und drittens den durchsichtigen Steinen, wie dem Glas und Bergkrystall.« Außer dem Äther haben die genannten Körper verschiedene Durchsichtigkeiten; bei der Luft hängt es davon ab, ob Staub oder Rauch oder Nebel ihr beigemischt ist und ähnlich die Flüssigkeiten. Dabei hat Al Hazen auch beobachtet, dass solche Körper von der Sonne getroffen »zweites«, wir würden sagen diffuses Licht, zurückstrahlen.

Dass bei der Brechung Licht und Farbe an Intensität verlieren, ein Körper dadurch undeutlicher, wenn auch nicht größer erscheine, wenn das

1) E. Wiedemann, Über die »Darlegung der Abhandlung über das Licht« von Ibn Al Haitam. Wied. Ann. 1883. Bd. 20. S. 337.

ihm sichtbar machende Licht aus einem dünneren Mittel in ein dichteres übergeht, dass ein im Wasser befindlicher Körper gehoben, ein hinein getauchter Stab demnach gebrochen erscheine, war der Aufmerksamkeit des arabischen Gelehrten gleichfalls nicht entgangen, aber auch die Reflexion und Brechung an krummen Flächen hat er untersucht.

Mit der Reflexion an sphärischen und parabolischen Flächen beschäftigen sich zwei Abhandlungen, die sich im Manuskripte in der Bibliothek des Indian Office befindet. Die in derselben von Al Hazen gewonnenen Resultate fasst E. Wiedemann¹⁾ folgendermaßen kurz zusammen: »Al Hazen kennt die Lage des Brennpunktes des Hohlspiegels und ist mit der longitudinalen Abweichung vollkommen vertraut, so vertrant, dass er sie benutzt, um Hohlspiegel zu konstruieren, die hinter der Kugeloberfläche eine Entzündung hervorrufen, indem er passende ringförmige Stücke aus der Kugeloberfläche schneidet. Bei den parabolischen Hohlspiegeln weiß er, dass dieselben alle Strahlen in einem Punkte vereinen. Er kennt die Eigenschaften der parabolischen Hohlspiegel.« Er wollte die Hohlspiegel jedoch nur als Brennspiegel benutzen und solche aus Stahlblechringen von immer wachsenden Radien nehmen, für die er eine Konstruktion angiebt, so dass sie sämtlich den nämlichen Brennraum haben. Wenn nun auch, wie wir sahen, die Griechen bereits über mancherlei Kenntnisse von den Brennspiegeln verfügten, so fasste Al Hazen die Sache allgemeiner, und aus seinen Abhandlungen schöpfte, wie wir sehen werden, das Abendland dann wieder seine Kenntnisse.

Ebenso dürfte es sich mit der Brechung und Reflexion in einer Glas- oder Wasserkugel verhalten, die auch bereits Al Hazen behandelt hat. Er gelangt zu dem Satze²⁾: »Bei jeder glatten und durchsichtigen Kugel von Glas oder einer ähnlichen Substanz wird die Wärme der Sonnenstrahlen in einer Entfernung von der Kugel vereinigt, die kleiner als ein Viertel des Durchmesser ist.« Eingehender beschäftigt sich ein Kommentator Al Hazens, wahrscheinlich Kamâl ed Din Abû al Hasan Al Fârisî mit der Brechung der Lichtstrahlen in einer Kugel. Er wurde seiner Mitteilung nach durch einen persischen Gelehrten, nämlich Kotb ed Din Abû al Tanâ Mahmûd ibn Masûd al Schîrasî auf den richtigen Weg gebracht und es gelang ihm ebensowohl die Erscheinung des Regenbogens, der Aristoteles noch ratlos gegenüberstand, zu erklären, als auch einige merkwürdige Sätze über die Brechung des Lichtes in Kugeln aufzufinden³⁾. Obwohl Al Schîrasî erst im 13. Jahrhundert lebte (1236—1311), so erwähnen wir diese Arbeiten des Zusammenhanges wegen gleich hier.

Dass es Al Hazen auch gelungen ist, die Vergrößerung der Gestirne in der Nähe des Horizontes richtig zu erklären, während seine Berechnung der

1) E. Wiedemann, Zur Geschichte der Brennspiegel. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 123.

2) E. Wiedemann, Über die Brennkugel. Wied. Ann. 1879. Bd. 7. S. 680.

3) E. Wiedemann, Über das Sehen durch eine Kugel bei den Arabern. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 565.

Höhe der Atmosphäre, da er dazu nur die Reflexion, aber nicht die Brechung des die Dämmerung verursachenden Lichtes berücksichtigte misslang, sei hier im Vorbeigehen erwähnt.

Die Arbeiten zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes verdanken wir Al Khâzinî, der sie in seinem 1137 verfassten, die »Wage der Weisheit« betiteltem Buche¹⁾ niedergelegt hat. Er definiert das spezifische Gewicht als das Verhältnis zwischen dem absoluten Gewichte und dem Gewichte des verdrängten Wasservolumens und bestimmt es zunächst mit Hilfe der Wage, die er zu diesem Zwecke besonders ausgebildet hatte. Er benutzte drei verschiedene Konstruktionen. Die erste, welche Figg. 68 und 69 darstellen, war eine gewöhnliche zweiarmige Hebelwage, die gemeine einfache Wage, wie er sie nennt.

Bei dieser konnte entweder eine Wagschale auf dem einen mit Teilung versehenen Arm verschoben werden, oder die Wagschalen *a* und *b* waren unverrückbar, dagegen war es möglich, an dem einen mit Teilung versehenen Arm ein Gewicht *c* hin und her zu bewegen, Einrichtungen, die wohl zum Zweck hatten, ein genaues

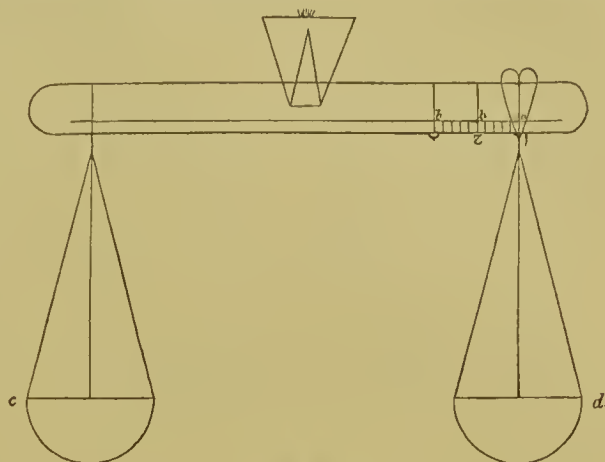


Fig. 68.

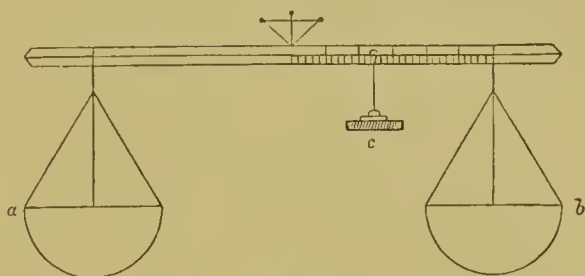


Fig. 69.

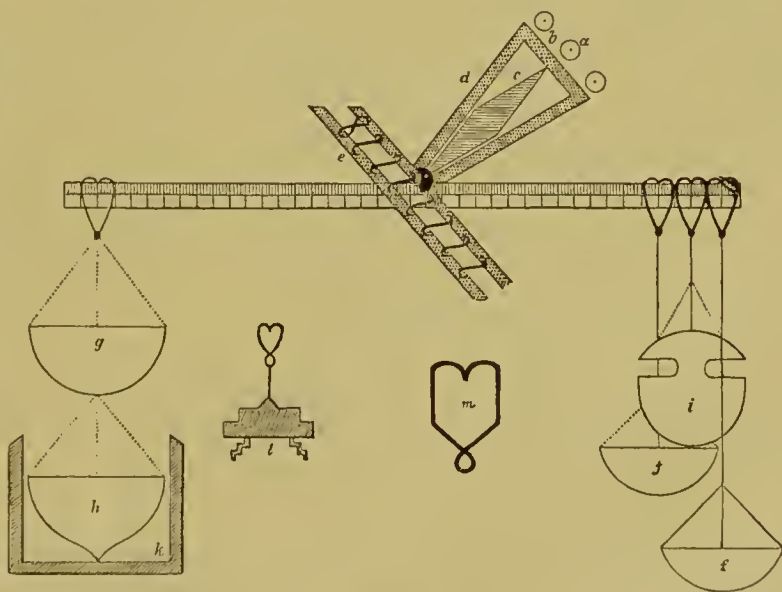


Fig. 70.

Einspielen der unbelasteten Wage erreichen zu lassen. Die zweite Wage

1) N. Khanikoff, Analysis and Extracts of »Book of the balance of wisdom« etc. Journ. of the Americ. orient. Society 1860. 6. Vol. S. 1—128. Vgl. auch E. Wiedemann, Arabische spezifische Gewichtsbestimmungen. Wied. Ann. 1883. Bd. 20. S. 539.

nannte Al Khâzinî die Wage mit der beweglichen Schale. Sie besaß deren drei; zwei kugelförmige, eine die Wasserschale, unter einer der anderen, wie es aus Fig. 70 ersichtlich ist, und kegelförmig, um beim Eintauchen den Widerstand der Flüssigkeit leichter überwinden zu können. Die dritte dieser Wagen ist die Wage der Weisheit, deren Namen die ganze Arbeit Al Khâzinîs trägt. Sie besitzt, wie Fig. 70 zeigt, fünf Wagschalen, die zum Teil hydrostatisch und fest, zum Teil beweglich sind. Der Empfindlichkeit wegen ist der aus Eisen oder Bronze verfertigte Wagebalken vier Bazar-Ellen (2 m) lang und mit einer Teilung versehen. Die oberhalb des Wagebalkens angebrachte Zunge hatte die Gestalt einer zweischneidigen Klinge; sie wurde am Wagebalken mittels zweier Schrauben befestigt, nachdem der Schwerpunkt des Balkens durch Versuche bestimmt worden war. Die Empfindlichkeit des Wagebalkens war, nach ihres Verfertigers Angabe, $\frac{1}{1000}$ und so groß, dass man reine Metalle mit ihrer Hilfe von Legierungen unterscheiden, die Bestandteile einer aus zwei Metallen bestehenden Legierung, ohne sie trennen zu müssen, bestimmen konnte. Die Schalen hatten die Form derer der Wage mit der beweglichen Schale.

Die Art, wie er das spezifische Gewicht bestimmte, beschreibt Al Khâzinî folgendermaßen: »Nachdem wir die beiden äußersten Schalen und die Wasserschale in das Gleichgewicht gebracht haben, setzen wir die beiden beweglichen Schalen an die beiden Punkte des Wagebalkens, welche die spezifischen Gewichte von den beiden zu wägenden Metallen anzeigen, oder eine von ihnen an den Punkt, der das spezifische Gewicht des Edelsteins und die andere an den Punkt, der das spezifische Gewicht der Nachbildung eines Krystalles oder des Glases angiebt. Dann wägen wir die Körper mit der größten Genauigkeit in der Luft, hierauf im Wasser, nehmen die Gewichte aus der Wagschale rechts und bringen so die Wage ins Gleichgewicht.«

Wie es scheint, dienten also die beweglichen Schalen nur zur raschen qualitativen Untersuchung, wie sie im Handel erforderlich sein mochte, die genaue zahlenmäßige Bestimmung des spezifischen Gewichtes ergaben die drei anderen Wagschalen.

Das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten untersuchte Al Khâzinî mittels eines Aräometers, das mit dem Alexandrinischen übereinkam. Es bestand aus einem Messingrohr von $\frac{1}{2}$ Ellen Länge und von 2 Fingern im Durchmesser. Damit es im Wasser bis zur Mitte, zum »Äquator«, einsank, war es unten mit einem Stück Zinn von passendem Gewichte beschwert. Eine zu beiden Seiten des Äquators aufgetragene Teilung ermöglichte die Bestimmung des spezifischen Gewichtes sowohl der im Vergleich zu Wasser schwereren als auch leichteren Flüssigkeiten. Außer der Wage und dem Aräometer wandte er dann auch den Apparat (Fig. 71), der wohl als erstes Pyknometer zu bezeichnen sein dürfte, an. Das »konische Instrument« war schon 100 Jahre vor Al Khâzinî von Abû al Raihan Al Birûnî zu gleichem Zwecke benutzt worden. Seine Einrichtung dürfte ohne weiteres

verständlich sein. Es wurde soweit mit Wasser gefüllt, dass dieses aus *c* ausfloss. Warf man dann eine gewogene Menge des zu untersuchenden Körpers durch *e* hinein, so floss wieder Wasser aus *c* aus, wurde aber in der flachen Schale *f* aufgefangen und gewogen. Damit nicht Wasser in der Röhre *c* hängen bleibe und erst allmählich ausfließe, wurde sie mit Löchern versehen und ihr eine kreisförmige Krümmung als die vorteilhafteste erteilt. Der Hals *e* war weit, mindestens so weit, dass man den kleinen Finger bequem hindurch stecken konnte. Bereits Al Birûnî nahm bei Benutzung des konischen Instrumentes auf die durch die erhöhte Temperatur verminderte Dichte des Wassers

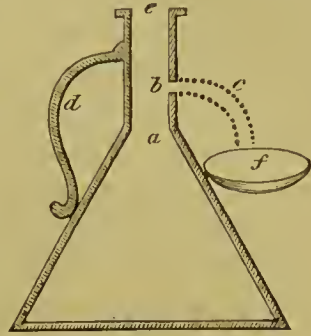


Fig. 71.

Rücksicht und fand den Unterschied zwischen heißem und kaltem Wasser zu 0,041677, ein Wert, dessen Übereinstimmung mit dem aus den neueren Versuchen erhaltenen durchaus befriedigend ist, wenn man die geringe Schärfe der Temperaturbeurteilung im Auge behält. Dasselbe gilt von Al Birûnîs und mehr noch von Al Khâzinîs Bestimmungen des spezifischen Gewichtes; die von letzterem erhaltenen Zahlen enthält folgende Tabelle mit den zur Vergleichung beigesetzten gegenwärtig giltigen.

Namen der Substanzen	Spezifisches Gewicht		Namen der Substanzen	Spezifisches Gewicht	
	Nach Al Khâzinî	Neuere Bestimmung		Nach Al Khâzinî	Neuere Bestimmung
Gold	19,05	19,26	Lapis Lazuli	2,69	2,3
Quecksilber	13,56	13,59	Echte Perlen	2,60	2,75
Kupfer	8,66	8,85	Gelbes Wachs	0,95	—
Messing	8,57	8,40	Süßes Wasser	1,00	1,00
Eisen	7,74	7,79	Heißes Wasser	0,958	0,9597
Zinn	7,32	7,29	Eiswasser	0,965	0,9999
Blei	11,32	11,35	Seewasser	1,041	1,027
Silber	10,30	10,53	Wein	1,021	—
Bronze	8,82	—	Sesamöl	0,915	—
Blauer Hyacinth	3,96	4,4—4,7	Olivenöl	0,920	0,91
Rother Hyacinth	3,85	4,4—4,7	Kuhmilch	1,110	1,04—1,42
Rubin	3,58	3,09	Honig	1,406	—
von Badanschan			Menschenblut	1,033	1,045—1,075
Smaragd	2,75	2,725			

Einem eigentümlichen Satze begegnen wir noch in Al Khâzinîs Wage der Weisheit, den auch später Roger Bacon noch zu beweisen sucht und der mit der Vorstellung verknüpft ist, dass der Erdmittelpunkt auch der Mittelpunkt des Weltalls sei. Er sagt aus, dass Flüssigkeiten in Gefäßen einen größeren Raum erfüllen, wenn sie in der Nähe des Weltmittelpunktes sich befinden, einen kleineren, wenn sie weiter von demselben

entfernt sind¹⁾. Denn in dem letzteren Falle ist die Oberfläche stärker gekrümmt. Endlich hat er auch die Oberflächenspannung am Quecksilbertropfen, freilich auf seine Art, gedeutet. Er sagt in seiner Kosmographie: »Das Quecksilber besteht aus wässerigen Teilen, die mit feinen schwefeligen Teilen innig gemischt sind, so dass man nicht die einen von den anderen zu unterscheiden vermag. Um dasselbe befindet sich eine Haut von Staubteilchen; wird ein Tropfen mit einem anderen in Berührung gebracht, so öffnet sich die Haut und die beiden Tropfen werden ein einziger. Die Haut umhüllt ihn in derselben Weise, wie wenn ein Wassertropfen auf Staub fällt. Er bleibt dann eine Kugel und diese ist von erdigen Teilen umhüllt. Oft trifft ein solcher Tropfen einen anderen. Dann vereinigen sich ihre Hüllen, beide Tropfen werden ein einziger und beide umgiebt eine Schale aus Staubteilchen«.

Das christliche Abendland bis zum Auftreten der Humanisten.

Weniger Jahrhunderte nur hatte es bedurft, um die kriegerischen Araberhorden in ein fein gebildetes Kulturvolk zu verwandeln, wenige Jahrhunderte nur behaupteten sie diese Stellung. Viel längere Zeit war nötig, bis die germanischen Völker des Abendlandes einen ähnlichen Aufschwung nahmen, aber einmal die Träger der fortschreitenden Kultur geworden, haben sie bis auf den heutigen Tag nicht aufgehört, es zu sein. Die Völkerwanderung hatte germanische Stämme in ganz Europa verbreitet, viele behaupteten sich, viele gingen in der bereits sesshaften Bevölkerung auf. Überall aber erhob sich neues, eigenartiges Leben auf den Trümmern des Römerreiches und der antiken Kultur. Anfangs in unvermitteltem Anschluss an die Griechen, später teilweise deren Werke durch die Araber erhaltend arbeiteten sich die Völker des Abendlandes, von denen keines ohne Beimischung germanischen Blutes geblieben war, zu immer größerer Selbständigkeit empor, bis sie das Zeitalter der Renaissance, und zwar gerade durch das Bekanntwerden griechischer Schriften oder der Urtexte solcher, die zwar bekannt, aber durch endloses Kommentieren völlig entstellt waren, zu völliger Freiheit führte.

Hand in Hand mit dieser Entwicklung geht die Betonung des Experimentes als notwendige Grundlage unserer Naturerkenntnis, und die moderne Forschung beginnt in dem Augenblicke, als Galilei zeigte, dass es nur die eine Seite unserer Studien bilden könne, dass es wirklich fruchtbar nur in Vereinigung mit der induktiven Methode werde. Es wäre aller geschichtlichen Entwicklung entgegen, wenn dies ohne jegliche Vermittelung geschehen wäre. Dem großen Florentiner fehlte es nicht an Vorgängern, die mehr oder weniger klar und bewusst, bereits in diesem Sinne

1) E. Wiedemann, Inhalt eines Gefäßes in verschiedenen Abständen vom Erdmittelpunkte nach Al Khâzinî und Roger Bacon. Wied. Ann. 1890. Bd. 39. S. 319.

arbeiteten, und so hat diese Periode, wenn sie auch experimentell wenig fruchtbar gewesen ist, auch für uns ein eigentümliches Interesse.

Erst nachdem sich Reiche aus den Wirren der Völkerwanderung entwickelt hatten, in welchen die Hand eines kräftigen Herrschers für Ruhe und Sicherheit sorgte, konnte wieder an die Pflege der Wissenschaften gedacht werden. Es war das Ostgotenreich Theodorichs des Großen (493—521), welches zuerst diese Bedingungen bot, um so mehr bot, als sein König selbst für Wissenschaft begeistert war. Unter seinem Schutze entstanden die Übersetzungen griechischer Werke von Boëthius (475 oder 481—524) und das Sammelwerk Cassiodors (475—570). Cassiodor hat der Wissenschaft auch dadurch einen ungeheuren Dienst geleistet, dass er die Insassen der damals neu gebildeten Klöster auf die Pflege der Wissenschaften hinwies, die sie seitdem, allerdings auf ihre Art sie ausübend, nie aus den Augen verloren haben. Von Boëthius haben wir dagegen zu berichten, dass er viele Versuche mit dem Monochord und mit Pfeifen anstellte, die allerdings Neues nicht ergaben. Von Interesse ist indessen die folgende Stelle über die Fortpflanzung und Reflexion der Wasser- und Schallwellen¹⁾: »In Bezug auf die Stimmen findet dasselbe statt, wie wenn ein aus der Ferne geworfener Stein in ruhigen Gewässern untersinkt. Zuerst sammelt er die Welle zu einem ruhigen Kreise, dann aber zerstreut er die Wellenmassen in größere Kreise und zwar so lange, bis die unruhige Bewegung von der Hervorlockung der Wogen ablässt und sich nach und nach beruhigt, indem sich die Wellen in immer weiteren und größeren Umkreisen verlaufen. Wenn nun etwas vorhanden ist, was den wachsenden Wellen Widerstand leistet, so wird sofort jene Bewegung zurück gewendet und wird gleichsam nach dem Mittelpunkte hin, wo sie ausgegangen ist, durch dieselben Wellen abgerundet. Wenn also auf dieselbe Weise ein Luftstoß einen Ton erzeugt hat, so treibt dieser zunächst einen anderen Luftstoß an und setzt so gewissermaßen eine kugelförmige Luftmasse in Bewegung. Auf diese Art wird der Ton verteilt und berührt zugleich das Gehör aller Umstehenden. Dem, der in weiterer Entfernung steht, erscheint die Stimme schwächer, weil zu ihm eine kleinere Welle der geschlagenen Luft gelangt«. Man sieht, die Klarheit der Anschauungen hat zugenommen.

Mit dem Zusammenbruche der Herrschaft Theodorichs verlor die Wissenschaft die kaum erworbene Freistatt. Erst das Reich des großen Karl war im stande, ihr eine neue zu bieten. Aber die Bestrebungen des Kreises von Lenechten der Wissenschaft, die der Kaiser um sich versammelt hatte und dem der Engländer Alkuin vorstand, kamen nur mittelbar den Naturwissenschaften zu gute, insofern Klostersehlen ins Leben gerufen wurden, an denen tüchtige Gelehrte wirkten und welche tüchtige Gelehrte

1) Boëthius, Fünf Bücher über Musik. Deutsch von O. Paul. Leipzig 1880. Kap. XIV. S. 18.

bildeten. Mit dem Beginne des 13. Jahrhunderts traten hierzu in Frankreich, England und Italien die Universitäten, in Deutschland folgte man mit der Errichtung solcher im 14. Jahrhundert nach. Ihre Lehrstühle waren jedoch mit Geistlichen besetzt und an freie Forschung war meist nicht zu denken. Die Naturwissenschaften waren und blieben in den Banden der Scholastik, für welche Aristoteles' Lehre das Alpha und das Omega war. Nicht aus den griechischen Schriftstellern selbst schöpfte man freilich deren Kenntniss, es waren die Übersetzungen und Werke der Araber, die sie vermittelten, und so waren es denn auch die Gebiete der Wissenschaft, mit denen sich die Araber vorwiegend beschäftigt hatten, welche weitere Bearbeitung erfuhren, die Chemie durch Albrecht von Bollstädt, den Großen (1193 oder 1205—1280), und die Optik durch Roger Bacon (1214—1294), den Polen Witelo (um 1270) u. a.

Wenig Neues war es, was Albertus Magnus den Kenntnissen Gebers zufügte, einzelne neue Verfahrungsweisen, bei denen die Destillation ausgebreitete Verwendung fand, aber er fasste in seinen Schriften den Wissensschatz seiner Zeit zusammen, und so haben sie in hohem Grade anregend auf die Zeitgenossen gewirkt. Diese Einwirkung wurde dadurch nicht wenig verstärkt, dass Alberts Leistungen unbegreiflich genug waren, um für Zauberei genommen zu werden.

Mit der Kirche hat ihn dies allerdings nicht in Konflikt gebracht, ein Schicksal, welches seinem nur wenig jüngeren Zeitgenossen Roger Bacon nicht erspart blieb. Indem er forderte, dass die höchste Beweiskraft dem Experiment inne wohnte, hätte er vielleicht auf Zustimmung rechnen können, aber dass er von seinen Mitgeistlichen mehr Gelehrsamkeit verlangte, das machte ihn unbequem und ließ ihn mehrmals das Innere der Kerkermauern sehen. In seinen optischen Untersuchungen ist weder er noch Witelo über die Errungenschaften der Araber hinausgekommen. Man hat früher freilich geglaubt, dass er zuerst die Eigenschaften der Brennspiegel erkannt habe; als man aber mit den Schriften der Araber vertrauter wurde, fand man diese Kenntnisse bereits bei ihnen vor, und so musste man ihnen auch den Ruhm, die Erscheinung des Regenbogens zuerst erklärt zu haben, lassen. den man lange als einer 1311 erschienenen Schrift des Predigermönches Theoderich von Freiberg gehörig angesehen hatte.

Erwähnenswert dürften nur noch aus den optischen Arbeiten jener Zeit die Ergebnisse der Untersuchungen Witelos über die Brechung des Lichtes beim Übergange aus Luft in Wasser und Glas und aus Wasser in Glas sein, Untersuchungen, die er freilich ganz nach dem Muster des Ptolemaios anstellte. Ihre Ergebnisse erreichen kaum eine größere Genauigkeit, als sie der Alexandriner auch schon erhalten hatte. Wir geben ihre Resultate nach Delambre¹⁾, der auch die beigefügten Brechungskoeffizienten berechnet hat, und stellen sie den von Ptolemaios gefundenen, von denen wir einige bereits früher anführten, gegenüber.

1) Gilberts Annalen 1812. Bd. 40. S. 285 ff.

Einfallswinkel	Brechungswinkel					
	aus Luft in Wasser		aus Luft in Glas		aus Wasser in Glas	
	Ptolemaios	Witelo	Ptolemaios	Witelo	Ptolemaios	Witelo
10°	8° 0'	7° 45'	7° 0'	7° 0'	9° 30'	9° 30'
20	15 30	15 30	13 30	13 30	18 30	18 30
30	22 30	22 30	20 30	19 30	27 0	27 0
40	28 0	29 0	25 0	25 0	35 0	35 0
50	35 0	35 0	30 0	30 0	42 30	42 30
60	40 30	40 30	34 30	34 30	49 30	49 30
70	45 0	45 30	38 30	38 30	56 0	56 0
80	50 0	50 0	42 0	42 0	62 0	62 0

Aus diesen Zahlen ergeben sich die Brechungsverhältnisse nach Ptolemaios aus Luft in Wasser zu 1,310, aus Luft in Glas zu 1,484 und aus Wasser in Glas zu 1,109, welche Werte unter Zugrundelegung von Witelos Beobachtungen zu 1,341, 1,443 und 1,109 werden.

Obwohl nun weder Roger Bacon noch Witelo die Optik ihrer Zeit wesentlich gefördert haben, so ist aus ihr doch ein Fortschritt zu verzeichnen, der, wie er einerseits von der allergrößten Wichtigkeit für die ganze Menschheit werden sollte, andererseits uns den Beweis liefert, dass neben der theoretischen die angewandte Optik nicht zurückgeblieben war, wenn uns unmittelbare Nachrichten darüber auch gänzlich fehlen. Es ist die Erfindung der Brillen, die einer Grabschrift nach, welche Leopoldo del Migliore 1684 in der Kirche Maria maggiore zu Florenz gesehen hat, von dem Florentiner Salvino degli Armati gemacht zu sein scheint. »Hier ruht«, lautete sie¹⁾, »Salvino degli Armati aus Florenz, der Erfinder der Augengläser. Gott verzeihe ihm seine Sünden. 1317«. Nach der Mitteilung von Giordano da Rivalta wäre das Jahr, in der diese Erfindung gemacht wurde, wahrscheinlich 1285, und in der That sollen sie in einem Manuscript vom Jahre 1299 als kurz zuvor erfunden erwähnt sein²⁾. Der Plural *occhiali* schließt die Annahme aus, dass man es hier mit einem einzigen Lesegläse zu thun haben könnte; doch versteht man nicht, wie von einem solchen Roger Bacon behaupten konnte, dass man, wenn man es umkehre, die Gegenstände verkleinert sehe³⁾. Die Bequemlichkeit unserer Brillen boten die jener Zeit freilich noch nicht. Fasste man sie doch in Lederlappen, welche, an die Mütze angeheftet, vor den Augen herabhängten, eine ungeschickte Art der Befestigung, die gleichwohl vor den jetzigen zierlichen Gestellen den Vorteil boten, alles seitliche Licht fern zu halten und namentlich störende Reflexe auszuschließen.

1) Leop. del Migliore in Firenze illustrata: Qui giace Salvino degli Armati di Firenze, inventore degli occhiali. Dio gli perdoni la peccata. 1317. S. Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 94.

2) Vgl. Poggendorff, a. a. O. S. 95.

3) Roger Bacon im Opus maius. Vgl. Heller, Gesch. der Physik. Stuttgart 1852. Bd. I. S. 201.

Übrigens hat sich Bacon auch wie der Bollstädter eingehend mit Chemie beschäftigt und die Ergebnisse seiner Studien in seiner *Ars chymica* zusammengestellt. Ist ihm nun auch auf diese Arbeiten hin die Erfindung des Schießpulvers mit Unrecht zugeschrieben worden, so macht er uns dort mit einer Methode, das Quecksilber zu reinigen, bekannt, welche die bis zu seiner Zeit übliche Destillation durch Anwendung einer die verunreinigenden Metalle lösenden Säure ersetzt. Er beschreibt sein Verfahren folgendermaßen¹⁾: »Das Quecksilber aber wird so gereinigt. Nimm davon, soviel du willst und bringe es in einen Steinmörser. Überdecke es nur mit gewöhnlichem Kochsalze und rühre es mit dem Stempel wohl um; füge auch etwas Essig zu und rühre so lange, bis Salz und Essig geschwärzt werden. Dann wasche es mit neuem Essig so lange ab, bis der Essig rein abläuft. Darauf nimm das so gewaschene Quecksilber und drücke es mit einem doppelten Tuche in einem Glasgefäße aus und es wird sauber und ganz rein sein«. Von Roger wohl hat Raymundus Lullus (1235—1315) dieses Verfahren übernommen, nur dass er das Tuch durch ein Stück Leder ersetzte²⁾.

So sehen wir die ersten Träger der Naturwissenschaften im Abendlande voller Abhängigkeit von ihren arabischen und griechischen Vorgängern, und man hat daraus auf die völlige Unselbständigkeit ihrer Zeit geschlossen. Das war indessen nur möglich, so lange man die Arbeiten auf dem Gebiete der reinen und angewandten Mechanik außer acht ließ. Geht man aber den Spuren der Forscher, die sich mit ihr befassten, nach, so entdeckt man mit Erstaunen, dass das rasche Emporblühen dieses Grenzgebietes zwischen Mathematik und Physik im 16. und 17. Jahrhundert durchaus kein zufälliges war, dass sie ihre Höhe in so kurzer Zeit nicht zum mindesten dadurch erreichen konnte, dass für sie die meisten selbständigen Arbeiten vorlagen. Es war der 1236 gestorbene, aus Borgentreich bei Warburg im Paderboruschen stammende Jordannus Nemorarius, der zuerst über die Gewohnheit der Alten, alle mechanischen Probleme auf statische Sätze zurückzuführen, hinausging und sie auf dynamischem Wege zu lösen versuchte³⁾. Seine Schriften fielen freilich bald wieder der Vergessenheit anheim; da er sie aber nach Cavernis Vermutung für seine Schüler geschrieben hatte, so wäre es immerhin nicht unmöglich, dass sie Gegenstand einer lebendigen Überlieferung geblieben sind.

Es sind hauptsächlich die schiefe Ebene und der Hebel, die Nemorarius behandelt hat. Er zeigt zunächst, dass ein von dem Punkte *A*. Fig. 72, aus über die schiefen Ebenen *AB*, *AC*, *AD* gleitender Körper dieselbe »Stärke des natürlichen Fallens hat«, wie beim Durchfallen der

1) Roger Bacon, *De Arte chymica*. Frankfurt 1620. S. 284.

2) Kopp, *Geschichte der Chemie*. Braunschw. 1847. Bd. IV. S. 175.

3) *Liber Jordani Nemorarii de ponderibus. Propositiones XIII*. Herausgegeben von Peter Apian 1533. S. auch Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*. 4 Bände. 1891/95. Tom. IV. S. 21—25 u. M. Cantor, a. a. O. Bd. II. S. 79.

Höhe AE . Jedesmal müssen die Produkte aus Gewicht in Geschwindigkeit, also nach unserer Ausdrucksweise die Bewegungsmomente, die nämlichen sein. Mit Hilfe dieses Satzes untersucht er dann die Bedingungen, unter welchen die Gewichte P und Q , Fig. 73, auf den beiden miteinander verbundenen schiefen Ebenen MO und MR , welche die nämliche Höhe MN besitzen, beim Herabfallen gleiche Momente haben. Um sie darzustellen, schneidet er auf beiden Ebenen die gleichen Stücke $AS = CF$ ab und zieht AB und CD senkrecht und SB und DF parallel zu OR . Sollen nun die Momente $P \cdot AB$ und $Q \cdot CD$ gleich sein, so muss sich verhalten:

$$P : Q = CD : AB.$$

Da sich aber auch verhält

$$CD : CF = MN : MR$$

und

$$AB : AS = MN : MO,$$

so ergibt sich:

$$CD : AB = MO : MR$$

oder:

$$P : Q = MO : MR.$$

Zur Untersuchung der Verhältnisse am Hebel geht Nemorarius von dem Satze aus, der wohl die erste Andeutung des Prinzips von den virtuellen Geschwindigkeiten enthält: »Bei¹⁾ zwei beliebigen schweren Körpern ist die Geschwindigkeit im eigenen Herabsinken den in derselben Reihenfolge genommenen Gewichten proportional, das Ver-

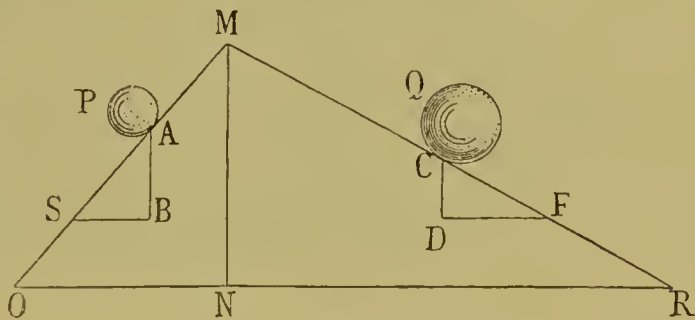


Fig. 73.

hältnis des Herabsinkens und der entgegengesetzt gerichteten Bewegung ist das nämliche, aber umgekehrte«. Hat nun ein Hebel einen Stützpunkt in A , Fig. 74, und sucht die in D angreifende Kraft nach M zu kommen, so wird sie die in E wirkende nach F zu bewegen suchen. Sind in D und E nun die Gewichte P und Q ange-

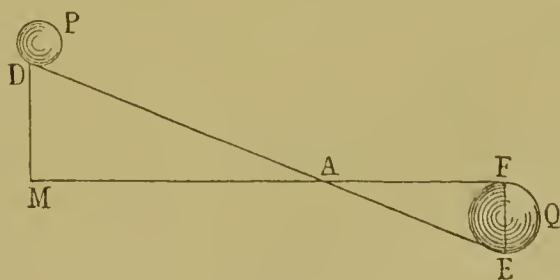


Fig. 74.

1) Jord. Nemorarius, De ponderibus, a. a. O. S. 6.

bracht, so sind ihre Momente $= P \cdot \overline{DM}$ und $Q \cdot \overline{EF}$, und es muss sich für den Fall des Gleichgewichtes verhalten

$$P : Q = \overline{EF} : \overline{DM}.$$

Nun ist aber auch

$$\overline{EF} : \overline{DM} = \overline{AE} : \overline{AD},$$

also

$$P : Q = \overline{AE} : \overline{AD}$$

die bekannte Gleichgewichtsbedingung am Hebel.

Da Nemorarius bei der von ihm behandelten Frage, wie es möglich sei, zu erkunden, wieviel von dem einen oder anderen Stoffe in einer aus beiden bestehenden Mischung sich befinde, nach Archimedes' Vorgang zu verfahren gedenkt¹⁾, ohne das spezifische Gewicht zu erwähnen, da auch die Untersuchung des Druckes, den in einer Flüssigkeit die oberen Schichten auf die unteren ausüben, ihn dazu nicht veranlasst, so dürfte die Behauptung Bardis²⁾, Galilei habe diese Bezeichnung jener Schrift entnommen, auf einem Irrtume beruhen.

Wie die Schriften des Nemorarius geeignet sind, die späteren, bisher unvermittelt dastehenden raschen Fortschritte der Wissenschaft begreiflich zu machen, so gilt dasselbe für eine Anzahl Erzeugnisse der mechanischen Kunst, die uns aus ihrer Entstehungszeit noch erhalten worden sind. Auf die Höhe, bis zu welcher diese sich damals bereits aufgeschwungen hatte, lassen eine Anzahl alter, auch arabischer Astrolabien schließen, die wir noch besitzen, unsere Bewunderung aber verdienen namentlich die Turmuhren, von deren hoher Vollkommenheit einige noch vorhandene Zeugnis ablegen. Eine Räderuhr mit Gewichten erhielt bereits im Jahre 1232 Kaiser Friedrich II. vom Sultan von Ägypten zum Geschenk. Außer den Stunden des Tages und der Nacht soll sie den Lauf der Sonne, des Mondes und der Planeten angezeigt haben. Nach Froissart³⁾ hat bereits 1332 Philipp der Kühne von Burgund eine Räderruhr besessen, welche die Stunden schlug, in Italien aber waren in der Mitte des 14. Jahrhunderts Jacob und Johann Dondi zu Padua als Verfertiger solcher Uhren berühmt⁴⁾, und von ihnen mag diejenige verfertigt worden sein, welche 1344 in ihrer Vaterstadt aufgestellt wurde⁵⁾.

1) Nemorarius Ms. 7378 A. fol 3900 à la suite du traité de Jordanus de ponderibus.

2) Bardius Florentinus, Experimenta ad Archimedis trutinam examinata Romae 1614. Wieder abgedruckt in Targioni Tozzetti: Notizie degli aggrandimenti delle scienze fisiche accaduti in Toscana nel corso di anni LV del secolo XVII. Firenze 1780. II. 1. S. 4; vgl. Thurot XIX. S. 117, welcher dies dahin zu erklären sucht, dass Bardi oder Galilei eine von Tartaglia besorgte Ausgabe der Schrift des Nemorarius benutzt habe, mit der eine als »Pseudo-Archimedes« bezeichnete Schrift vereinigt war.

3) Barrington bei Beckmann, Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Bd. I. Göttingen 1774. S. 302.

4) Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 597.

5) Hamberger bei Beckmann, a. a. O. I. S. 151.

Wohl die älteste der noch erhaltenen solcher Uhren zeigt Fig. 75. Sie ist Schweizer Fabrikat und hat von 1348 bis 1872 in Dover Castle die Stunden geschlagen. Jetzt befindet sich das Werk im South Kensington Museum in London und ist noch so gut im stande, dass es durch Aufziehen des treibenden Gewichtes leicht in Gang gesetzt werden kann. »Das an dem Seile *a* hängende Gewicht«, so hat der eine von uns ¹⁾ ihre Wirkungsweise beschrieben, »setzt das mit der Seiltrommel fest verbundene Zahnrad *b* in Bewegung, dieses vermittelt des Getriebes *f* das Kronrad *e*, welches, wie ein Sperrrad, mit dreieckigen Zähnen versehen ist. Vor demselben ist die

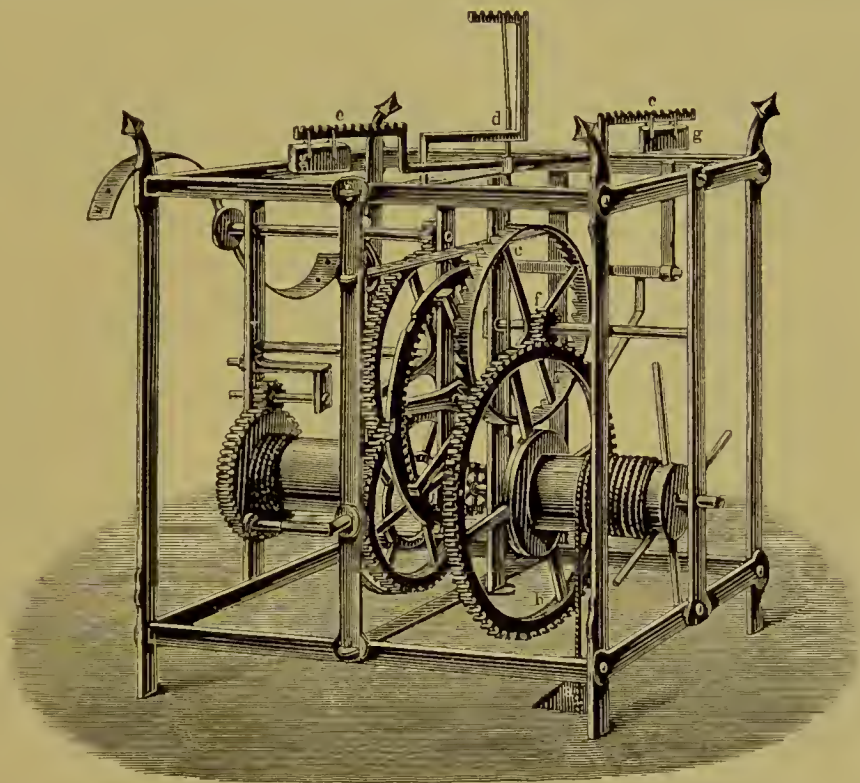


Fig. 75.

Achse *d* des Horizontalpendels *e* aufgestellt, welches durch Entfernen oder Nähern der Gewichte *g* langsamer oder rascher schwingen kann. An den beiden Punkten, wo die Achse den Zähnen des Kronrades gegenüber steht, trägt sie je eine kleine Platte. Diese Platten sind in zu einander rechtwinklige Ebenen gestellt; drängen nun z. B. die Zähne oben die obere Platte fort, so kann das Rad nur um einen Zahn vorwärts rücken, da, sowie dies geschehen, die untere Platte gegen die Zähne vordringt, das Rad etwas zurückdrückt und dasselbe um den folgenden Zahn erst wieder weiter gehen kann, wenn diese Platte wieder weg gedrängt ist. Der Teil

¹⁾ Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in Hofmanns Bericht. Braunschweig 1878. S. 19.

rechts von der Pendelaehse, das Schlagwerk, ist bereits ähnlich eingerichtet, wie die heute auch noch gebräuchlichen«.

Ähnlich wird die Uhr gebaut gewesen sein, welche König Karl V. von Frankreich in seinem Palaste in Paris aufstellen ließ. Sie interessiert uns hier um deswillen, weil als ihr Verfertiger Heinrich von Wiek (de Vico) angegeben wird. Daraufhin hat man ihn den Erfinder dieser Uhren genannt, aber ein Blick auf die große Vollkommenheit des Werkes bei seiner in Erstaunen setzenden Einfachheit wird uns die Annahme Berthonds¹⁾ als eine fast notwendige erscheinen lassen, »dass eine solche Uhr nicht die Erfindung eines einzigen Menschen sein kann, sondern dass sie ein Produkt mehrerer vorhergehender geringerer Erfindungen ist, die zum Teil wenigstens sehr alten Zeiten angehören mögen«. Namentlich wird man die Benntzung des Pendels nicht hoch genug anschlagen können, und es ist im höchsten Grade zu bedauern, dass es der geschichtlichen Forschung wohl nie gelingen wird, den Erfinder der Pendeluhr im weiteren Sinne ausfindig zu machen.

Das Zeitalter der Humanisten und Konquistadoren.

Die Werke der griechischen Philosophen waren die Träger der Wissenschaft im Altertum und im Mittelalter gewesen, von ihnen war jede Anregung zur Beschäftigung mit den Wissenschaften überhaupt, mit den Naturwissenschaften insbesondere ausgegangen. Unzerstörbar hatten sie der Vernichtung durch die anstürmenden Araber getrotzt, sie hatten diese erbitterten Feinde in kurzer Zeit zu ihren Bekennern und Pflegern gemacht. An sie knüpfte sich das Erwachen der Wissenschaft im Abendlande; aber wenig selbständig waren diese ihre Nachfolger gewesen, endlos hatten sie die Texte kommentiert, wenig Neues dem Vorhandenen zugefügt. So waren die Urtexte nach und nach in den immer von Neuem unternommenen Arbeiten daran bis zur Unkenntlichkeit entstellt und auch die byzantinischen Gelehrten, welche den ununterbrochenen Zusammenhang mit denen, deren Namen sie beibehalten hatten, herstellten, waren in geistloser Nachtreterei erstarrt. Aber in einem waren sie dem Abendlande überlegen geblieben, sie besaßen noch viele der Urtexte in ihrer ursprünglichen Form. Diese brachten sie nach Italien mit, als Byzanz einem zweiten Ansturm mohammedanischer Horden, die sich indessen nicht als so bildungsfähig wie die Araber erwiesen, erlag. Die Errungenschaften der alten Kultur, die sie zu ihrer Verteidigung aufriefen, wie das noch rätselhafte griechische Feuer, konnten sie nicht schützen, und so blieb deren Vertretern nichts übrig, als sich unter Mitnahme ihrer Schätze in die Sicherheit bietende Abendland zu retten. So mächtig aber erwies sich auch da noch der griechische

¹⁾ Littrow in Gehlers physikal. Wörterbuch. 2. Aufl. Bd. IX. 2. Abt. Leipzig 1839. S. 1111.

Geist, dass die Bekanntschaft mit seinen unverfälschten Erzeugnissen eine neue Ära im Abendlande zeitigte. Vorbereitet war genug, nun trat die abendländische Wissenschaft zum erstenmal auf eigene Füße.

Anfangs waren ihre Versuche, selbständig vorzugehen, noch schüchtern, aber es kennzeichnet sie bereits das Bestreben durch eigenes Schauen zu neuem Wissen zu gelangen. Dante Alighieri freilich, der an der Grenze dieser neuen Zeit steht, gelangte dazu noch nicht. Doch aber ist seine göttliche Komödie für die Naturwissenschaft von Bedeutung, weil sie uns auf die Ausbreitung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse in seiner Zeit schließen lässt. Geht er doch zum öfteren auf sie ein! Wohl aber sehen wir diese Richtung Nikolaus von Cusa (1401—1463), der, als Sohn eines Schiffers zu Cues an der Mosel geboren, es zur Kardinalswürde brachte, mit vollem Bewusstsein einschlagen. Indem er alles Erkennen für ein Messen erklärte, brach er mit der antiken Forschung und sprach wohl als der erste diesen der modernen Naturwissenschaft zu Grunde liegenden Satz aus. In seinem Buche *de »staticis experimentis«* Dialogus (Straßburg 1550), lässt er einen Philosophen sich mit einem Mechaniker über den Gebrauch der Wage unterhalten und ihre Bedeutung für die Naturforschung darthun. Das Beispiel, an dem er sie auseinandersetzt, zeigt klar, wie unbefangen sein Blick gewesen ist. Man könne untersuchen, ob die keimenden Pflanzen ihre Nahrung aus der Luft oder aus dem Boden entnehmen, wenn man eine gewogene Menge von Sämereien in eine gewogene Menge Erde einlege und das Gewicht der gekeimten Pflanzen und das der Erde, in der sie gewachsen, bestimme. So wollte er auch die Wage zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit benutzen, indem er die Gewichtszunahme von etwas trockener Wolle bestimmte. Und auch ein Bathometer hat er angegeben, eine hohle Kugel, die mit einem Gewicht von solcher Größe beschwert war, dass sie ins Wasser gebracht, untersinken musste. Beim Aufstoßen auf den Grund löste sich das Gewicht, die Kugel stieg empor und aus der Zeit, die zwischen ihrem Verschwinden und Wiederer scheinen verfloss, sollte die Tiefe des Gewässers bestimmt werden. Wir wissen leider nicht, inwieweit er selbst in der Anfertigung dieser Apparate ging, denn sein noch in der Bibliothek des Hospitals zu Cues vorhandener Nachlass enthält freundlicher brieflicher Mitteilung zufolge nur einige astronomische Instrumente, ein Astrolabium und zwei Himmelsgloben, einen von Holz, einen zweiten von Kupfer. Diese Instrumente benutzten aber seine Zeitgenossen auch und wenn er sich mit der Annahme, dass sich die kugelförmige Erde um ihre Achse drehen müsse, über diese erhob, so war doch seine Begründung dafür, die sich in seinem Werke *»de docta ignorantia«* (Basileae 1565) findet, wieder ganz im Sinne seiner Zeit. Diese Bewegung sei ja eine natürliche und bedürfe somit keines Antriebes.

Ganz allein steht er mit solchen Forschungen unter seinen Mitlebenden aber nicht da. Auch der italienische Banmeister und Maler Leo Battista Alberti (geb. 1404 in Genua, gest. 1472 in Rom) hatte ein ähnliches Hygro-

meter, wie der Cusaner, erdacht, nur hing er statt der trockenen Wolle einen trockenen Schwamm an der Wage auf¹⁾, benutzte auch eine Art Camera obscura, um einem größeren Zuschauerkreise Projektionsbilder zu zeigen²⁾.

Auch andere sich auf die weitesten Kreise erstreckende Wirkungen waren es, die diese Zeit zur Zeit der Renaissance machen sollten. Die Erfindung der Buchdruckerkunst (1440) erweiterte den Blick der damals Lebenden zeitlich, indem sie die Werke der Alten jedem zugänglich machte, während die immer weiter vordringenden Seefahrer die räumlichen Grenzen ihres Wissens immer mehr zurückrückten und der alten Welt eine neue zur Seite stellten. Trotzdem war es nicht die Fülle neuer meteorologischer und geographischer Beobachtungen und Thatsachen in erster Linie, welche den Aufschwung der Naturwissenschaften vorbereitete; denn selbst die wichtige Entdeckung Christoph Columbus' (1436—1506), dass die Magnetnadel etwa 200 Seemeilen westlich von Ferro eine westliche Abweichung von etwa 5° zeigte, deren Größe beim Weiter-vorrücken nach Westen noch zunahm, während man in Europa eine östliche beobachtete, blieb zunächst vereinzelt, obwohl 1497 Cabot (1477—1557) die Veränderlichkeit der Deklination mit dem Ort auf der Erdoberfläche bestätigte. Dagegen führten die ganz neuen und unabweisbaren Bedürfnisse der Seefahrer zur Aufstellung schwieriger astronomischer und physikalischer Aufgaben, deren Lösung die Naturwissenschaft in die Hand nehmen musste und die eine rasch zunehmende Anzahl Forscher zu immer neuen Arbeiten antreibend, langsam ihrer Lösung entgegen gingen. Der Verlauf unserer Darstellung wird zeigen, dass es gerade diese Aufgaben waren, welche den Aufschwung der Naturwissenschaften und der Experimentierkunst in erster Linie mit bedingten. Über den neuen wurden aber auch die alten Probleme nicht vernachlässigt. Da sie die ersten waren, welche in Angriff genommen wurden, so wenden wir uns zunächst ihnen zu und beginnen mit den Arbeiten auf optischem Gebiete.

Das sechzehnte Jahrhundert.

1. Maurolykus und della Porta. Die Optik.

Es ist das Verdienst des Abtes des Klosters Santa Maria del Porta bei Castra nuovo, es ist das Verdienst des Maurolykus (1494—1575), als erster die Optik von den Fesseln der Autorität des Aristoteles befreit zu haben. Freilich nicht alle ihrer Teile! So schließt sich seine Behandlung der Reflexion an die, welche seine Vorgänger geübt hatten, wie er denn nirgends Kenntnisse über die Lage des Brennpunktes der Hohlspiegel,

1) Alberti, L'architettura. Venedig 1565. S. 366.

2) H. Janitschek, Leone Battista Albertis kleine kunsthist. Schriften. Wien 1877. S. 229.

oder über den Ort und die Größe der von einem solchen entworfenen Bilder verrät. Seine Erklärung des Regenbogens bedeutet sogar der von den arabischen Gelehrten gegebenen gegenüber einen Rückschritt. Lässt er ihn doch durch siebenmalige Zurückwerfung des Lichtes entstehen, weil er die vier Hauptfarben Orange, Grün, Blau und Purpur (*croceus, viridis, coeruleus et purpureus*) und zwischen ihnen drei Übergangsfarben (*conne-ziones*), also im ganzen sieben annehmen zu müssen glaubt, und wenn er auch die Erklärung des Nebenregenbogens als eines Spiegelbildes des Hauptregenbogens verwarf, so war die Begründung dieser Ansicht durch die umgekehrte Reihenfolge der Farben in beiden wenig beweiskräftig. Er hätte darans vielmehr das Gegenteil schließen müssen. Dagegen traf seine Erklärung der runden Lichter auf dem Waldesboden, der durch enge Öffnungen von beliebiger Form erhaltenen umgekehrten Bilder eines hell beleuchteten Gegenstandes im Gegensatze zu seinen Vorgängern das Richtige. Er findet die Ursache dieser Erscheinung darin, dass jeder Punkt in dem Zwischenraum zwischen den Blättern die Spitze eines Doppelkegels sei, dessen Seitenlinien von den Punkten des Umfanges der Sonnenscheibe ausgehen. Wird der der Sonne abgewandte Teil des Kegels durch eine Ebene geschnitten, so nähert sich die Schnittfläche um so mehr einem Kreis, je mehr sich die auffangende Ebene der zur Achse senkrechten Lage nähert, er wird nm so größer, je weiter die Ebene von der Sonne entfernt liegt. »Man¹⁾ denke sich«, sagt er weiter, »weil zu jedem Punkte der Öffnung ein Lichtkegel gehört, aus jedem Punkte derselben einen Kreis, als die beiden Grundflächen jener Kegel, auf der auffangenden Ebene beschrieben, so muss die aus allen diesen Kreisen resultierende Figur der Gestalt eines Kreises um so näher kommen, je kleiner die Öffnung im Vergleiche gegen diese Kreise ist, je weiter also die auffangende Ebene von derselben entfernt wird.« Wird nun statt der Sonne eine andere Lichtquelle, z. B. eine Lichtflamme *L* (Fig. 76) der Öffnung im Schirme *D*

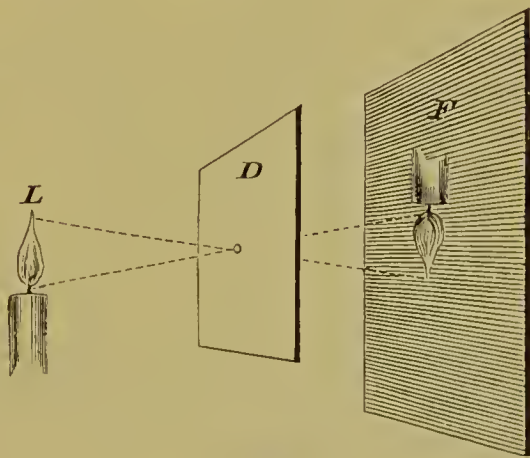


Fig. 76.

gegenüber gestellt, so wird jeder ihrer Punkte eine Stelle auf dem Schirme *F* mit seiner Farbe und relativen Helligkeit erleuchten, es wird somit ein umgekehrtes Bild von *L* entstehen müssen, da diese erleuchteten Stellen in umgekehrter Reihenfolge auf *F* zu liegen kommen.

1) Maurolycus, Theoremata de lumine et umbra. Lugdun. MDCXIII. Theor. XXII. S. 19.

In den die Lichtbrechung behandelnden Theoremen genannten Werkes findet sich der durch Fig. 77 erläuterte Satz aufgestellt¹⁾, dass ein Lichtstrahl, der auf ein durchsichtiges von zwei parallelen Ebenen begrenztes

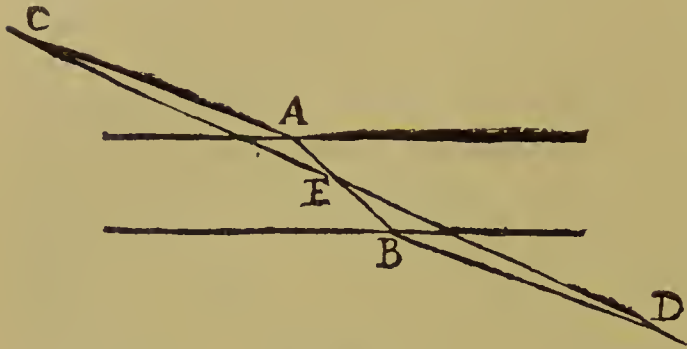


Fig. 77.

Mittel fällt, nach der Brechung seiner vorigen Richtung parallel weiter geht. Dort findet man auch den ersten Hinweis auf die diakaustische Fläche, welche entsteht, wenn Sonnenstrahlen eine mit Wasser gefüllte gläserne Kugel, eine sogenannte Sehsterkugel, durchsetzen.

»Mitznteilen²⁾ ist«, sagt er darüber, »dass, indem ich Sonnenstrahlen durch eine durchsichtige Kugel hindurehgehen ließ, nicht alle in denselben Punkt zusammenliefen; jeder von ihnen schneidet den der Achse näheren und wird von dem entfernteren geschnitten. Die aus der Kugel tretenden Strahlen bilden also einen Kegel, dessen Grundfläche die Oberfläche eines Teiles der Kugel ist, innerhalb dessen die Durchschnittpunkte aller Strahlen liegen. Seine Seiten sind aber nicht gerade Linien, sondern, wegen der aufeinander folgenden Schnitte der Strahlen, krumme; der Scheitel aber ist die äußerste Grenze jener Durchschnitte.«

Die Beschreibung³⁾ des anatomischen Baues des Auges durch Maurolykus ist deshalb von besonderem Interesse, weil er die Arbeiten des großen Anatomen Andreas Vesalius benutzen konnte. Die seiner Beschreibung beigegebene Abbildung ist in Fig. 78 reproduziert. Die Eigenschaften der Krystalllinse erklärte er aus den ihm bekannten der Glaslinsen, von denen die bikonvexen die Strahlen in einem Punkte der Achse sammeln, die bikonkaven dagegen die Strahlen zerstreuen, so zwar, dass eine stärkere Krümmung diese Wirkung verstärkt. Da nun die hintere Fläche der Linse stärker gekrümmt ist, wie die vordere, so wird seiner Meinung nach eine geringere Krümmung jener Kurzsichtigkeit, eine stärkere Weitsichtigkeit zur Folge haben, die Kurzsichtigen müssen sich also einer Brille mit Konkavgläsern, die Weitsichtigen einer solchen mit Konvexgläsern bedienen.

Auch über Mechanik, die magnetischen Eigenschaften der Körper u. s. w. hat Maurolykus geschrieben, ohne dass er auf diesen Gebieten bemerkenswertes Neues geleistet hätte. Erwähnt sei hier nur seine Erklärung des von Nemorarius eingeführten Wortes Moment. »Moment⁴⁾ ist«, sagt

1) Maurolycus, a. a. O. S. 37.

2) Maurolycus, a. a. O. Lib. I. theor. 24. Scholion.

3) Maurolycus, a. a. O. Lib. III. S. 79.

4) Archimedis monum. ex traditione Maurolyci. Panormi 1685. S. 86.

er, »die Kraft eines in einem bestimmten Abstand eine Gegenwirkung ausübenden Gewichtes, weshalb die Momente gleicher Gewichte ungleich sein können und umgekehrt folgt, dass die Gewichte gleicher Momente ungleich sein können.«

Neben den tüchtigen Arbeiten des Abtes von Santa Maria spielen die seines um ein Menschenalter jüngeren Landsmannes, des Neapolitaners Giambattista della Porta (1538—1615), eine recht bescheidene Rolle, wenn sie auch bei den Zeitgenossen weit- aus größeres Aufsehen erregten. Ohne viel Kritik zu üben, sammelte Porta bereits in seinem 15. Jahre namentlich aus den Schriften seiner Vorgänger alles, was auf weitere Kreise Eindruck machen konnte, in seiner »*Magia naturalis*«, einem Buch, das für eine Anzahl späterer ähnlicher Sammelwerke zum Vorbild gedient hat. Sein beispielloser Erfolg veranlasste ihn 1589 eine neue Auflage herauszugeben, die jedoch mit größerer Vorsicht abgefasst wurde. Da er seine Quellen nicht namhaft macht, so ist der Wert seiner Mitteilungen für die geschichtliche Forschung kein allzu hoher; es ist fraglich, ob die Erfindungen, welche ihm daraufhin zugeschrieben wurden

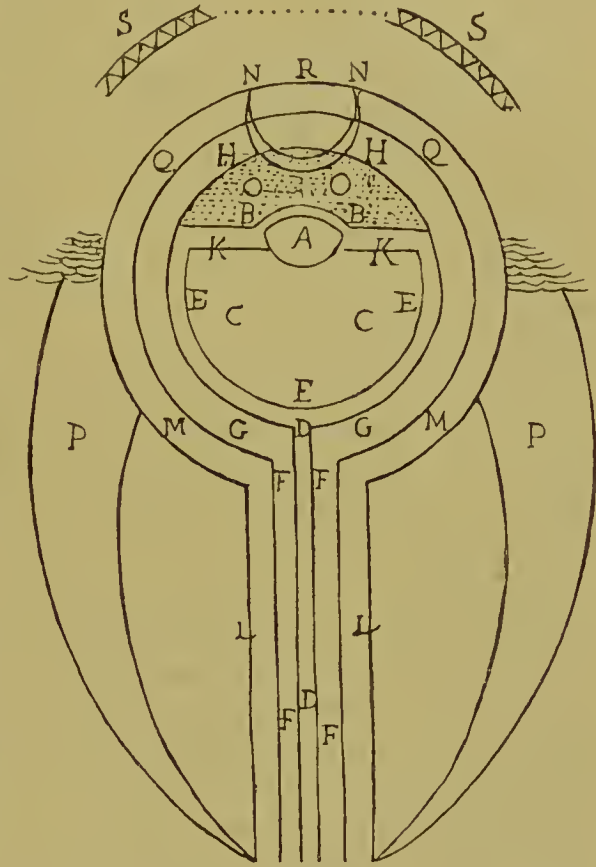


Fig. 78.

und werden, auch wirklich von ihm herrühren. Von vielen wissen wir, dass sie vor ihm bereits bekannt waren, von anderen bleibt der Urheber unsicher. Jedenfalls ist es zu verwerfen, wenn auf unklare Andeutungen hin man ihm Errungenschaften, die einer späteren Zeit angehören, hat zueignen wollen.

Zu den ersten gehört auf optischem Gebiete, das er mit Vorliebe bearbeitet hat, die Camera obscura und die Zusammenstellung zweier Linsen, zu den letzteren der Winkelspiegel und der Hohlspiegel. Seine Camera bestand aus einem dunklen Zimmer, in dessen Laden er die enge Öffnung durch eine Linse ersetzte. Indem er als Gegenstand auch transparente Bilder benutzte, erhielt er die Laterna magica. Erfunden hat er beide wohl nicht. Einer Bemerkung in Cesariinis italienischer Übersetzung

des Vitruv¹⁾ zufolge hat der Benediktinermönch Dom Panunce, den Govi²⁾ Don Papnutio nennt, den nützlichen Apparat angegeben.

Die Gesetze des Winkelspiegels, den mit seinen Bildern Fig. 79 darstellt, legt della Porta dar. Er leitet aus der sich aus dem Reflexions-

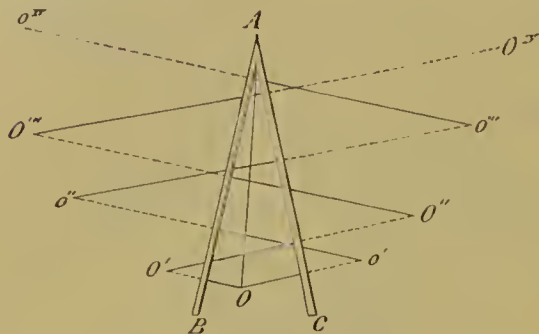


Fig. 79.

gesetz ergebenden Kongruenz der rechtwinkligen Dreiecke, deren Hypotenusen AO' , AO' , AO'' , AO'' ... sind, ab, dass die Bilder in einem Kreise liegen müssen und ebenso die Gleichheit der Winkel $O'AO''$, $O''AO'''$, $O'''AO^{IV}$... einerseits und die der Winkel $o'AO''$, $o''AO'''$, $o'''AO^{IV}$... andererseits, woraus ihre symmetrische Anordnung um A folgt.

Ihre Zahl findet er als den um eins verminderten Quotienten aus dem von den Spiegeln eingeschlossenen Winkel in 360° ³⁾.

Den Brennpunkt der Hohlspiegel nennt Porta den Umdrehungspunkt der Bilder (*punctum inversionis imaginum*). Er ist der erste, der seine Lage in der Mitte des Radins bestimmt. Halte man das Gesicht, berichtet er, zwischen diesen Punkt und den Spiegel, so werde es überaus groß gesehen. In ihm könnten mit Hilfe der auf den Spiegel fallenden Sonnenstrahlen Blei und Zinn geschmolzen, Gold und Eisen zum Glühen gebracht werden. Auch höre man Worte, die in beträchtlicher Entfernung von vorne leise gegen den Spiegel gesprochen würden, ganz deutlich, wenn man das Ohr in den Brennpunkt bringe. Betrachte man sein Gesicht im Spiegel, indem man sich jenseits des Brennpunktes befände, so sehe man es verkehrt und in der Luft schwebend. So erkläre es sich auch, dass das Bild der Spitze eines dem Spiegel allmählich genäherten Schwertes sich der Hand entgegen bewege und man sich der Täuschung nicht erwehren könne, als ob sie die Hand durchbohre⁴⁾. Seine weiteren Angaben über die Brennspiegel knüpfen an die vor ihm bereits gemachten an und sind wohl mehr theoretische Folgerungen, als aus Versuchen entnommen.

Den Ort des Brennpunktes der Linsen genau zu bestimmen, ist Porta nicht geglückt. So scheiterte er auch bei dem Versuch, den Gang der Strahlen durch die Linsen zu finden. Dagegen beobachtete er, dass die Bilder, welche Konvexlinsen entwerfen, bald vor, bald hinter ihnen, ja dass sie in unendlicher Entfernung liegen können. Das Auge hielt er für eine Camera obscura und fand diese Ansicht namentlich durch die bereits

1) Venturi, *Essai sur les ouvrages de L. da Vinci*. Paris 1797; vgl. Poggen-dorff, *Geschichte der Physik*. Leipzig 1879. S. 135.

2) Govi, *Saggio delle opere di Leonardo da Vinci*. 1872.

3) Wilde, *Geschichte der Optik*. Berlin 1838—43. I. Bd. S. 115.

4) Wilde, a. a. O. S. 116.

den Arabern bekannte Thatsache bestätigt, dass die Pupille bei stärkerem Lichte kleiner, bei schwächerem größer werde. Was er außerdem über das Auge sagt, ist wertlos und bleibt weit hinter Manrolykus' Kenntnissen zurück¹⁾.

Ein gewisses Interesse haben endlich die Versuche, die Zusammenstellung zweier Linsen zu benutzen, weil man in ihnen wohl die erste Idee des Fernrohres hat finden wollen. Porta war nicht der erste, der solche anstellte. Schon der Leibarzt des Papstes Paul III. Fracastoro²⁾ (1483 bis 1553) spricht davon. »Wenn jemand«, sagt er, »durch zwei Augengläser blickt, indem er das eine vor das andere setzt, wird er alles viel größer und näher sehen.« Ob hierbei zwei Sammellinsen oder eine Sammellinse und eine Zerstreuungslinse gemeint sind, erfahren wir nicht. Da aber nur die Wirkung erwähnt ist, die eine Sammellinse auch hat, vorher nicht bemerkt wird, dass die Linsen in größerem Abstand voneinander aufgestellt werden müssen, die Beobachtung auch entfernt nicht das Aufsehen erregte, wie 70 Jahre später diejenige, welche zur Erfindung des Fernrohres führte, wird man an ein solches nicht denken können, und das um so weniger, als die viel weitläufigere Auslassung Portas, dem ein solcher alt und jung überraschender Apparat bei seinem großen Sammeleifer schwerlich entgangen sein würde, auch nicht derartiges feststellt. Porta nimmt bei der von ihm beschriebenen Zusammenstellung zweier Linsen eine Sammel- und eine Zerstreuungslinse, die er aufeinander legt. Den Zweck, den er dabei verfolgt, giebt er folgendermaßen³⁾ an: »Konkave Linsen lassen entfernte Gegenstände sehr deutlich sehen, konvexe nahe, weshalb man für die Bequemlichkeit des Sehens von ihnen Nutzen ziehen kann. Durch ein konkaves Glas sieht man Entferntes klein, aber deutlich, durch ein konvexes Nahes größer, aber verzerrt. Wenn man beide in richtiger Weise zusammensetzen gelernt hat, so wird man entfernte und ganz nahe Gegenstände vergrößert und deutlich sehen. Ich habe zu öfteren Malen vielen Freunden, welche Entferntes unrein, Nahes verzerrt sahen, dieses Hilfsmittel gezeigt, so dass sie alles vollkommen gut erblickten.«

Auch diese Beschreibung spricht bei unbefangener Prüfung gegen die Annahme, dass hier ein Fernrohr gemeint sein könne. Die Sammellinse giebt weniger deutliche, wohl verzerrte Bilder, die Zerstreuungslinse zwar verkleinerte, aber schärfere Bilder. Der Auffassungsweise eines Porta musste es also nahe liegen beide zu vereinigen, um die Vorteile der Vergrößerung zu gewinnen und die Nachteile der sie gebenden Sammellinse zu mildern. In der That kann durch die Zusammenstellung die sphärische und vielleicht auch etwas die chromatische Aberration der Sammellinse vermindert, somit ein besseres Bild erzielt worden sein und so spricht

1) Della Porta, De refractione, optices parte. Libri IX. Neapoli 1593.

2) Fracastoro, Homocentricorum, seu de stellis. Liber unus. Venet. 1538.

3) Della Porta, Magia naturalis. Libri XX. Neapoli 1589. Lib. 18. Cap. 10.

denn auch in seiner 1644 erschienenen »Experimentalphilosophie«¹⁾ der Jesuit Cabeo (1585—1650), der doch gewiss Portas *Magia naturalis* kannte, von der Verbindung einer konvexen mit einer konkaven Linse, deren Zweck sei, bei schwachen Augen deutlich lesen zu können.

Es erübrigt noch, einen Blick auf Portas Mitteilungen über Wärme und Magnetismus zu werfen. Auf die letzteren wird im folgenden Abschnitte einzugehen sein, die ersteren erstrecken sich auf die Destillation und die Ausdehnung der Luft. Sie interessieren uns deshalb, weil der eifrig sammelnde Neapolitaner in seinen Mitteilungen über die Destillation angiebt, wie viel Luft, das will in diesem Falle sagen Dampf, aus einer bestimmten Menge Wasser erhalten werden kann, sodann weil er den Apparat beschreibt, den wir in anderer Form bereits bei Heron finden (Fig. 45), und der so oft fälschlich als Thermoskop aufgefasst worden ist. Er besteht aus einer mit Luft gefüllten Retorte, deren Öffnung in ein Gefäß mit Wasser taucht. Erhitzt man die Retorte, so entweicht die Luft, bis sie ihre größte Ausdehnung erfahren hat. Nimmt man nun das sie erhitzende Feuer weg, so dringt das Wasser hinein und füllt sie zum Teil an. Ein Thermoskop sollte dieser Apparat durchaus nicht sein, denn von Temperaturbestimmungen ist bei dem Versuche nicht die Rede.

2. Gilbert und die magnetischen und elektrischen Untersuchungen.

Die Wichtigkeit der Magnetenadel für die neuen Aufgaben, welche der Seefahrt durch die Entdeckung von Amerika und des Seeweges nach Ostindien erwachsen waren, musste zur Folge haben, dass man über ihre wunderbaren Eigenschaften klar zu werden suchte. So finden wir denn die Forscher des 16. Jahrhunderts, den Seefahrer Sasseti, den Servitenmönch Sarpi, die Professoren Sealiger und Cardano mit derartigen Arbeiten beschäftigt. Auch Porta beteiligte sich daran und teilte seine Resultate im 7. Buche seiner *Magia naturalis* mit. Inwieweit sie ihm gehörten, inwieweit den genannten Männern, wissen wir nicht, doch dürfte Porta die zu seiner Zeit vorhandenen Kenntnisse zusammengefasst haben.

Nicht nur dem Verhalten einer frei schwebenden Nadel schenkte man Aufmerksamkeit, auch die Wirkung zweier Magnete wurde untersucht. Da fand man, dass der Magnet, mit Ausnahme von Eisen, durch alle Körper hindurch wirke, und dass eine über einem Pappdeckel schwebende Magnetenadel in tanzende Bewegung versetzt werden könne, wenn ein Magnetstab unterhalb des Pappdeckels im Kreise herumgeführt würde. Dass ein Eisenstab durch Influenz seitens eines Magneten selbst zum Magneten werden könne, hatte Sarpi dem Verfasser der *Magia naturalis* mitgeteilt. »Um einer anderen Gabe willen«, schildert dieser²⁾ in bilderreicher Sprache den

1) *Philosophia experimentalis sive Commentaria in III libr. Aristotelis meteorologicorum*. Romae 1644.

2) Della Porta, a. a. O. S. 301.

Vorgang, »empfiehlt sich uns der nämliche Stein, denn wenn er einen anderen Stein anzieht, so hält er ihn nicht nur hartnäckig fest, sondern ergießt und überträgt in dessen Körper einen Ausfluss seiner Kräfte; dieser aber hat sich irgend woher noch reichere Kräfte angeeignet und überträgt und ergießt die nämliche Fähigkeit auf einen anderen, den er mit den Händen ergreift; dieser dritte, durch dieselbe Fähigkeit erregt, reißt andere, sei es aus geringer, sei es aus größerer Entfernung, an sich heran und wirft und strahlt dieselbe Kraft aus, und dieser wieder andere, so dass durch die gegenseitige Erregung er durch dieselbe Kraft, durch die er gehalten wird, andere hält, und aus einem jeden brechen gleichsam ausgeschleuderte Kraftsalven auf den anderen, und in die Höhe gehoben scheinen sie wie zusammengekettet aneinander zu hängen«.

Der ausstrahlende Magnetismus wird dann die Ursache dafür, dass Eisenfeilicht wie ein Bart am Magneten hängen bleibt und selbst, so lange es nicht aus seiner Lage gebracht wird, magnetische Wirkungen auszuüben vermag. »Wenn man«, so schildert¹⁾ Porta die hübsche, auch jetzt noch als Vorlesungsversuch zum Beweise der magnetischen Moleküle dienende Erscheinung, »Eisenfeilicht auf ein Papier so zusammengehäuft hat, wie die Salbenhändler einen Kegel aufzustellen pflegen und ihm einen Magneten sehr nahe gebracht hat, so nimmt das gesamte Eisenfeilicht dieselbe Kraft auf und zieht einen langen Eisenstab an, indem es ihm dieselbe Kraft erteilt wie von unversehrtem Eisen. Schüttelt man aber das Feilicht und bringt es wieder auf das Papier, so wird jene Kraft gestört und verdorben und es tritt keine Wirkung ein«. Dass das Gewicht eines Stahlstabes dadurch, dass er magnetisch wird, ungeändert bleibt, beobachtete zuerst Robert Norman.

Aus der *Magia naturalis* hatte der Leibarzt der Königin Elisabeth von England, William Gilbert (1540—1603) seine Kenntnisse über den Magneten geschöpft, als er daran ging, das noch wenig bebaute Gebiet durch die eingehenden Versuche zu erweitern, die der Lehre vom Magnetismus eine wissenschaftliche Grundlage gaben²⁾. Nicht nur, dass er den Magnetismus verschiedener Magneteisenerze untersuchte, er stellte auch die ersten künstlichen Magnete von ausgeglühtem Eisen (*ferrum decoctum*) her. Zerteilte er solche und legte die Stücke auf schwimmende Korkplatten, so nahmen sie die Richtung der frei beweglichen Magnetnadel an, sie mussten also auch Magnete sein, deren Pole analog denen des ganzen Stabes lagen. Die natürlichen Magneten »armierte« er, als der erste, indem er, wie Fig. 80, S. 92, zeigt, ein Stahlband um beide Pole legte und so ihre Wirkung verstärkte. Dass die stärkste magnetische Kraft an den Polen ausgeübt werde, ergab sich, als er kleine, an Drähten befestigte Magnetnadeln

1) Della Porta, a. a. O. 7. Buch, 47. Kap.

2) Guil. Gilberti Colcestrensis, *De Magnete magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure; Physiologia nova, plurimis et argumentis, et experimentis demonstrata*. Londini 1600.

verschiedenen Stellen eines Magnetstabes gegenüber schwingen ließ. Doch brachten ihn diese Versuche nicht auf eine annehmbare Erklärung der magnetischen Erscheinungen. »Die magnetische Kraft«, sagt er vielmehr¹⁾, »ist beseelt oder gleicht einer Seele, welche die menschliche Seele, so lange sie mit ihren körperlichen Organen verbunden ist, in vielen Dingen übertrifft«. In derselben Weise würden bereits die alten Griechen die Erscheinung erklärt haben.

Kam er in dieser Hinsicht nun auch nicht zu neuen Anschauungen, so gelang es ihm, die Variation, wie er die Deklination nannte, und die



Fig. 80.

Inklination der Magnetonadel durch die Annahme der magnetischen Erde zu erklären und die Erklärung durch den Versuch zu prüfen. Die Deklinationsnadel war bereits das unentbehrliche Hilfsmittel der Seefahrer geworden, auch die Bergleute wendeten sie damals, worüber uns Agricola²⁾ (1490—1555) die erste Nachricht aufbewahrt hat, bei der Anlage ihrer Gruben in ausgedehntem Maße an. Die Inklination hatte der Meehaniker und spätere Vikar an der Sebalduskirche in Nürnberg, Georg Hartmann (1489—1564) im Jahre 1544 zuerst beobachtet und ihre Größe freilich sehr ungenau zu 9° gefunden³⁾, während er 1536 die Deklination für Nürnberg zu $10^\circ 15'$ bestimmt hatte. Die erste genauere Bestimmung der Inklination führte 1576 Norman mit dem zu diesem Zwecke von ihm zuerst konstruierten Inklinatorium aus und fand sie zu $71^\circ 50'$.

Die Bussole, die Gilbert zu seinen Versuchen benutzte, ist in Fig. 81 dargestellt. Sie besteht aus einer hölzernen Kapsel, deren Öffnung durch einen Glasdeckel verschlossen ist, so dass man die Bewegung der Nadel verfolgen, der Wind aber keinen störenden Einfluss auf sie ausüben kann. Die mittels eines Hütchens auf einer Spitze schwebende Nadel spielt über einem in 32 Teile (Stücke) eingeteilten Kreise, der die Windrose giebt. Die Teilung der zu markscheiderischem Gebrauche bestimmten Bussole zeigte zweimal 12 Stunden. Ähnlich wie seine Bussole war Gilberts »Instrumentum Declinationis«, wie er das Inklinatorium nannte, eingerichtet.

Fig. 82 zeigt das früheste, welches er in der Ausgabe seines Werkes von 1600 abbildete. Das der Ausgabe von 1624 ist in Fig. 83, S. 94, abgebildet.

Mit diesen Instrumenten ausgerüstet, ging Gilbert an die Prüfung des Magnetismus der Erde. Er stellte durch Magnetisierung einer Eisenkugel

1) Gilbert, a. a. O. Lib. 5. Cap. 12.

2) Agricola, De re Metallica. Basileae 1656. S. 105.

3) Dove, Repertorium II. S. 130. Siehe auch Doppelmayr, Historische Nachricht von den Nürnberger Mathematicis und Künstlern. Nürnberg 1730. S. 57.

einen kugelförmigen Magnet, eine *Terella*, wie er ihn nannte, her und zeigte, dass ein solcher an den Polen die stärkste, am Äquator die geringste Anziehung auf eine Magnethadel ausübe, dass sich aber diese Anziehung auf einen die Kugel umgebenden Raum erstreckt, den er die magnetische Anziehungssphäre (*orbis virtutum*) nannte. Indem er ihn als »den gesamten Raum, durch welchen die Kraft irgend eines Magneten wirkt«, definierte¹⁾ und ihn, wie Fig. 84, S. 95, zeigt, nebst der Richtung dieser Magnete in demselben sich vorstellte, schuf er die Anschauung, die später zum magnetischen Felde ausgebildet wurde. So einfach in auch jetzt noch gültiger Weise sich aus der Annahme der magnetischen Erde die Inklination und die Nordrichtung der Deklinationssadel erklären ließ, so ergab sich keineswegs aus ihr die Variation Gilberts, also unsere Deklination. Ihre Ursache sollte die ungleiche Verteilung von Wasser und Land auf der Erdoberfläche sein, da nur das Land die Nadel beeinflusse. Dann aber musste die Deklination an jedem Orte der Erde ihren Wert behalten und Gilbert

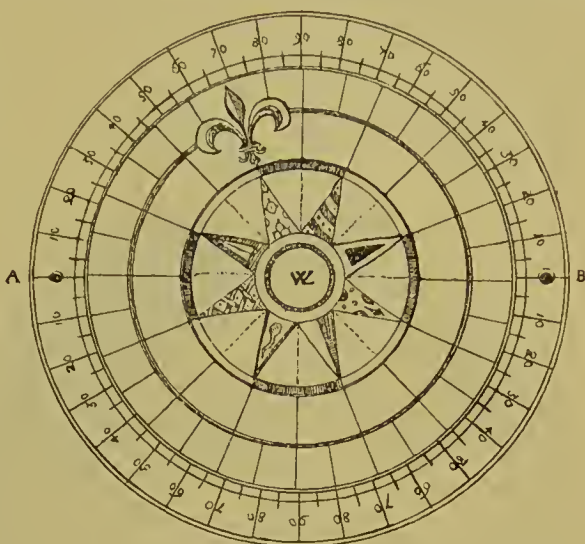


Fig. 81.



Fig. 82.

1) Gilbert, a. a. O.: Verborum quorundam interpretatio: »Orbis virtutis est totum illud spatium, per quod quaevis magnetis virtus extenditur«. S. auch Kap. VI.

stand nicht an, abweichende, von Seefahrern gemachte Beobachtungen in deren Unerfahrenheit im Experimentieren, das ja das immer in Bewegung be-

N_o

VII

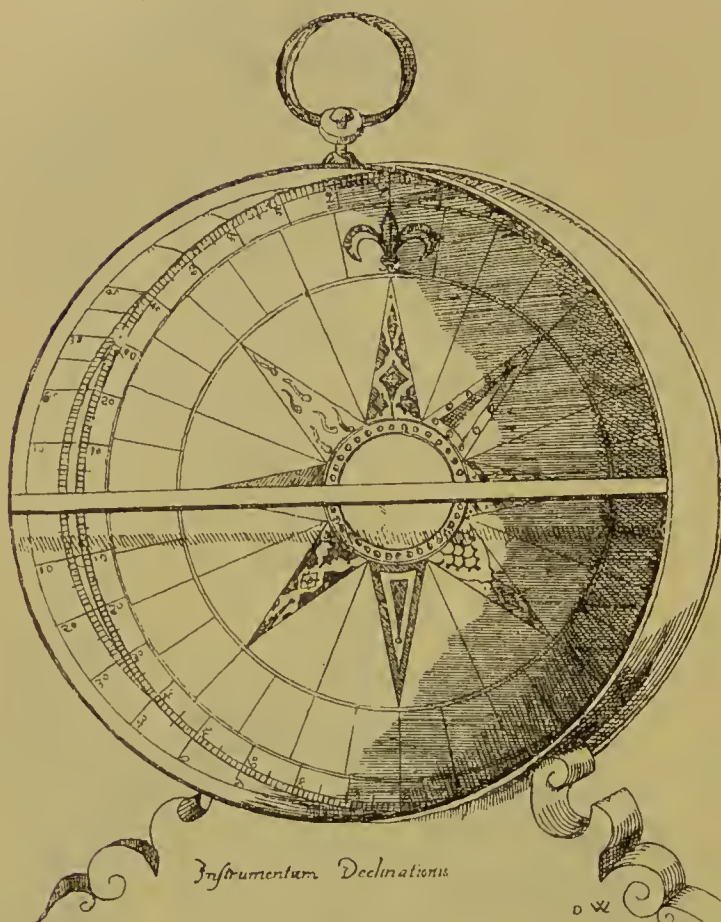


Fig. 83.

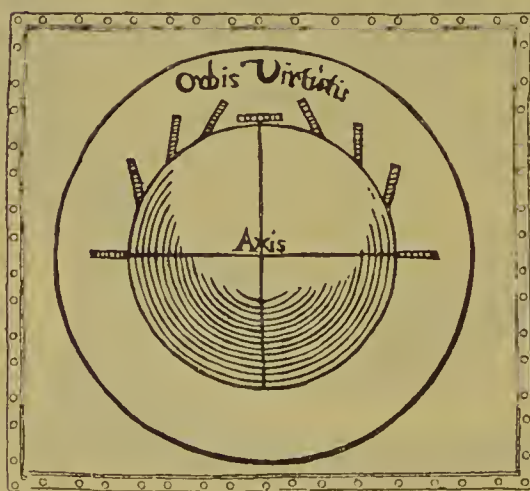


Fig. 84.

findliche Meer sehr erschwere, oder aus der Unvollkommenheit der Beobachtungsinstrumente zu erklären.

Es entging indessen Gilbert nicht, dass er die Annahme eines magnetischen Erdkörpers auch prüfen könne, wenn er Stahlstäbe an Fäden aufhing und zur Unschädlichmachung der Luftströmungen in Glaskästen einschloss. Der Magnetismus, den sie zeigten, bestätigte die Richtigkeit seiner Annahme.

Die Ähnlichkeit der Wirkung eines mit Wolle geriebenen Stückes Bernstein auf leichte Körperchen mit der eines Magneten auf

ein Stück Eisen veranlasste Gilbert, auch diese Erscheinung in den Bereich seiner Untersuchungen zu ziehen. Er fand, dass außer dem Bernstein eine Anzahl anderer Körper, Diamant, Saphir, Amethyst, Opal, Beryll, Gagat, Flussspat, Glas, Schwefel, Kolophonium, Mastix, Gummilack, Steinsalz, Siegelack u. a., wenn sie gerieben worden waren, sich ebenso wie Bernstein verhielten, dass aber diese Wirkung nicht eintrat, wenn die Luft feucht war. Da er zwischen beiden Gruppen den Unterschied zu bemerken

glaubte, dass durch die magnetische Anziehung Magnet und Eisen, durch die der geriebenen Körper aber nur das leichte Körperchen bewegt werden könne,

so schien ihm ein besonderer Namen dafür notwendig, und er nannte sie elektrische Anziehung oder Bernsteinskraft. Er sah ihr Wesen nach dem Vorgange der Alten in Ansflüssen, welche beim Reiben aus den Körpern herausgepresst würden, und untersuchte sie mit dem in Fig. 85 dargestellten kleinen Apparate, einer mittels eines Hütchens frei auf einer Spitze schwebend aufgestellten Drahtnadel, der als erstes Elektroskop zu bezeichnen ist. Abstoßende Wirkungen zwischen geriebenen Körpern hat er noch nicht beobachtet. In magnetischen Kräften, welche zwischen den Weltkörpern wirken sollten, glaubte er die Ursache von deren Anziehung erkannt zu haben, im Gegensatze zur Schwere, welche nur zwischen den Teilen der Planeten thätig sein sollte.



Fig. 85.

3. Die Astronomie, die astronomischen und mathematischen Instrumente.

Die Astronomie war unter den Naturwissenschaften diejenige, der zuerst das dringende Bedürfnis erwuchs, an Stelle der unfruchtbaren Spekulationen und unzuverlässigen Bestimmungen genauere Daten und zutreffendere Anschauungen zu setzen. Namentlich war es die damals unabweislich gewordene Reform des Kalenders, die auf diese Notwendigkeit immer wieder hinwies. Aber auch für Zeitbestimmungen und astrologische Zwecke konnte man sie nicht entbehren. Dazu waren aber genauere Beobachtungen und, um sie anzustellen, wieder die Verfertigung besserer Instrumente nötig. Beide Thätigkeiten lagen zunächst in einer Hand, der mechanische Künstler war auch zugleich Beobachter, oder wenn man lieber will, der Astronom musste für die Herstellung seiner Instrumente selbst sorgen. War es nun Kopernikus (1473—1543), der an Stelle des für den damaligen Stand der Wissenschaft nicht mehr ausreichenden Ptolemäischen Systemes ein neues setzte, welches der Sonne den ihr vermöge ihrer großen Masse zukommenden Platz im Planetensysteme anwies, so waren es Regiomontan (1436—1476) und vor allem aber Tycho Brahe (1546—1601), welche den Schatz von Beobachtungen sammelten, auf deren Grund des Kopernikus' Ansicht trotz des heftigsten Widerstandes von seiten der Kirche als die allein mögliche erwiesen wurde. Vor der Erfindung der Fernrohre bestanden die für diese Zwecke nötigen Instrumente nur aus Metallteilen, in deren Anfertigung die mechanische Kunst nicht zum mindesten durch die Herstellung der Uhren und der Erzeugnisse der Goldschmiede- und Schlossergewerbe wohl vorbereitet war. Diese Instrumente ermöglichten je länger je mehr auch den Aufschwung der physikalischen Experimentierkunst, und so ergibt sich für uns die Notwendigkeit, auf das erste Auf-

treten der mechanischen Künste und die Anfänge der wissenschaftlichen Astronomie einen Blick zu werfen.

Beider Wiege war die alte freie Reichsstadt Nürnberg, auch Augsburg leistete bald Tüchtiges. In diesen zwei Städten bestanden schon im 15. Jahrhundert meehanische Werkstätten, deren Vorsteher von den Magistraten ernannt wurden, und als 1471 Regiomontan von Wien nach Nürnberg übersiedelte, gründete er mit Unterstützung des reichen Patriziers Bernhard Walther (1430—1504) eine weitere Werkstatt¹⁾, welche astronomische und mathematische Apparate herstellte, auch Automaten, welche letztere »zu aller Ansehauenden großen Bewunderung die Bewegung der Sterne zeigten«, gingen daraus hervor. Unter den ihr entstammenden Apparaten wird auch ein großer Hohlspiegel aus Metall gerühmt, und wenn auch nicht für diesen, so erwies sich für die übrigen Erzeugnisse der Werkstatt das kurz vorher erfundene Messing²⁾ als ein sehr brauchbares Material. Nach Regiomontans frühem Tode setzte Walther die Arbeiten der Werkstatt, sowie die begonnenen astronomischen Beobachtungen fort, indem er dabei zum erstenmal den Einfluss der Strahlenbrechung auf den Ort niedrig stehender Sterne berücksichtigte und ein Mittel ersann, die Beobachtungen von den durch sie bewirkten Fehlern zu befreien. Auch verdankt man ihm die Einführung von Gewichtsuhren auf den Sternwarten³⁾. Ein Teil der Instrumente Walthers wurde nach dessen Tode von seinen Erben verschleudert. Doch legte sich der Rat von Nürnberg noch rechtzeitig ins Mittel und überwies den Rest und die Beobachtungen zur weiteren Bearbeitung dem Astronomen J. Schöner (1477—1547), der eine Ausgabe der letzteren veranstaltete.

Außer diesen Astronomen, die die für ihre Arbeiten notwendigen Apparate selbst verfertigten, gab es eine Reihe zünftiger Mechaniker, die sich neben der Herstellung von astronomischen Instrumenten mit der von Sonnenuhren und Räderuhren, Kompassen, Kanonenaufsätzen, Kaliberstäben, Brillen u. s. w. befassten. Ihre hohe Blüte verdankten diese Gewerbe nicht nur den strengen Zunftgesetzen, sondern auch den Schuleinrichtungen Nürnbergs, welche mathematische Kenntnisse auch denen überlieferten, die eine gelehrte Bildung nicht erhalten konnten. Sie wurden meist von Privatlehrern, den sogenannten Modisten, unterhalten, und einer von ihnen, Johann Neudörffer, hat uns wichtige Nachrichten über die Künstler Nürnbergs seiner Zeit hinterlassen. Die Kompassmacher bildeten eine förmliche Zunft für sich, doch verfertigten sie auch andere Instrumente, und zahlreiche Werke ihrer geschickten Hände sind auf uns gekommen. Hieronymus Reimann (gest. 1577), Hans Troschel (gest. 1612), Erhard

1) Joh. Gabr. Doppelmayr, Historische Nachricht von den Nürnberger Mathematicis und Künstlern. Nürnberg 1730. S. 1—27.

2) S. Günther, In Festschrift zur 65. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte. Nürnberg 1892. S. 5.

3) J. L. E. Dreyer, Tycho Brahe. Deutsch von M. Bruhns. Karlsruhe 1894. S. 340.

Etzlaub (gest. 1546), Paulus Pfintzing (1554—1599), Johannes Praetorius (1537—1616) sind Namen, denen man in Sammlungen älterer Apparate nicht selten begegnet. Die Goldschmiede stellten Gewichte und Probierwagen her, berühmt waren die Orgelbauer und auch Lautenmacher, die Diamant- und Gemmenschneider und die Glasmaler der alten Reichsstadt. Auch Brillenmacher übten dort ihre Kunst. Man trug bereits die Brillen als Kneifer auf der Nase, wie ein Holzschnitt Burgkmaiers, welcher ein alchemistisches Laboratorium darstellt, erkennen lässt¹⁾. Wie geschieht aber einer der berühmtesten Brillenmacher, Hans Ehemann, jener Zeit war, hat uns Neudörffer geschildert. »Er hat einen solchen Verstand«, sagt unser Gewährsmann²⁾, »wo einer übersichtig war, konnte er die Brillen dermaßen schleifen, dass sie ihm die aufsteigende Schein in die Augen herab trugen. Einen jeden Alter wusste er die Vergrößerung und Stärke des Gesichts mit der Brillen zu geben und welches mir das Wunderlichste war, er nahm ein ebenhoeh Venetisch Trinkglas, that den Boden hinweg, brennet das auf der Seiten auf und breitet es im Feuer aus wie ein eben Papier und macht christallene Brillen daraus«.

Die Uhrmacherzunft war mit der der Schlosser bis 1565 vereinigt. Damals trennten sich beide. Der Uhrmacher hatte als Meisterstück zwei Uhren anzufertigen, eine Standuhr und eine von der Form, wie man sie am Halse zu tragen pflegte. Die erstere musste mit ihrem eisernen Gehäuse 6 Zoll lang, $4\frac{1}{2}$ Zoll hoch und $2\frac{1}{2}$ Zoll dick sein; sie musste die Stunden und deren Viertel schlagen, den Kalender, Sonnen- und Mondaufgang und den Planetenlauf zeigen. Wer solche Anforderungen zu erfüllen hatte, musste Tüchtiges leisten können. So gingen denn auch die unter dem Namen der Nürnberger Eier bekannten frühesten Taschenuhren aus der Zunft hervor, die noch Uhrmacher und Schlosser vereinigte. Peter Henlein (1500—1540), fälschlich Hele genannt, soll sie erfunden haben. Zeitgenössische Berichte rühmen von ihm, dass er schon als junger Mann »aus wenig Eisen« Uhren verfertigt habe, die in jeder Lage einen gleichmäßigen Gang behielten. Er soll dann auf den Gedanken gekommen sein, eine spiralig gewundene Feder als Triebkraft zu verwenden. Erwähnt mögen auch noch werden wegen der Automaten, die sie herstellten, die Uhrmacher Hans Bullmann (gest. um 1535) und Kaspar Werner (gest. um 1545), deren Werke, soviel Geschicklichkeit ihre Herstellung auch erforderte, für uns kein Interesse mehr haben.

Wichtiger für unsere Darstellung sind die eigentlich astronomischen Instrumente, die Planisphären, Armillarsphären, Quadranten u. s. w. Sie waren die wichtigsten Hilfsmittel der damaligen Astronomen, die Peter Bienewitz, genannt Apianus (1495—1552) durch dem Planisphärium

1) Abdruck in Nürnberger Festschrift. S. 37.

2) Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern. Nebst der Fortsetzung von Andreas Gulden 1660. Herausgegeben von Friedrich Campe. Nürnberg 1828. S. 59.

ähnliche Scheibeninstrumente und einen neuen Höhenquadranten vermehrte. Er war es auch, der zuerst Blendgläser zur Beobachtung von Sonnenfinsternissen zu verwenden vorschlug. Für Kaiser Karl V. soll er eine Uhr aus reinem Gold angefertigt haben, welche die Bewegung der Planeten und Fixsterne darstellte.

Weitaus wichtiger für uns sind die Instrumente Tycho Brahes (1546—1601), nicht nur, weil sie an Vorzüglichkeit alle früheren übertrafen und dadurch, obwohl sie nicht mit Fernrohren versehen waren, das reiche Beobachtungsmaterial liefern konnten, welches Keppler seine beiden ersten Gesetze auffinden ließ, sondern auch weil sie Tycho mit großer Sorgfalt abgebildet hat. Er ließ sie in einer eigenen Werkstatt anfertigen. Fig. 86

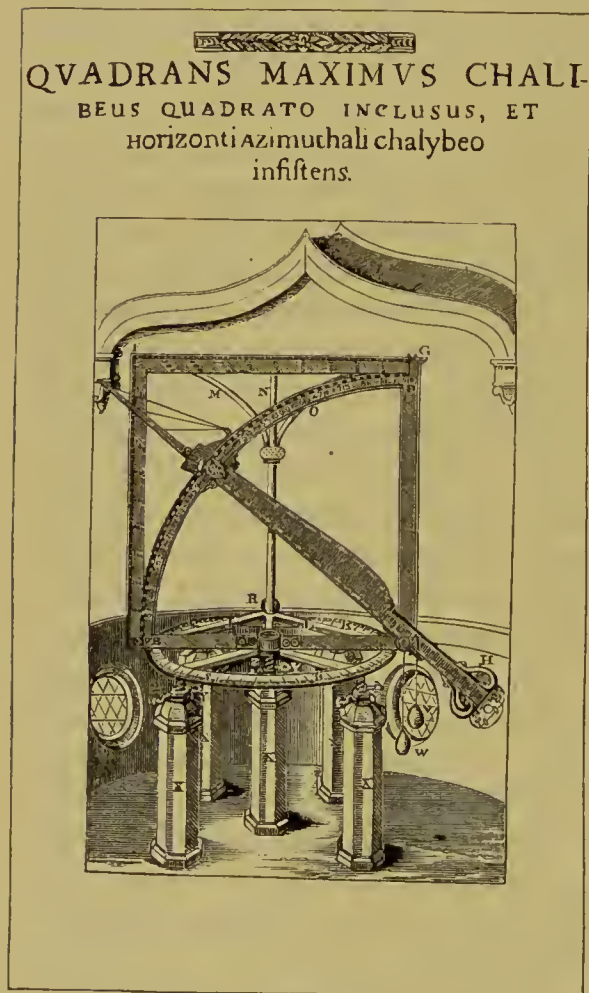


Fig. 86.



Fig. 87.

zeigt seinen großen Quadranten, Fig. 87 eine Armillarsphäre. Die Abbildungen lassen erkennen, mit welcher Sorgfalt und Eleganz sie ausgeführt waren, während Tycho auf die Uhren einen viel geringeren Wert legte. Er benutzte mit Quecksilber gefüllte Gefäße mit einer engen Öffnung am Boden; auf die Zeit wurde aus der ausgeflossenen Menge des flüssigen Metalles geschlossen, dessen Höhe im Ausflussgefäß aber unveränderlich

gehalten wurde, um eine geänderte Ausflussgeschwindigkeit infolge geänderten Druckes zu verhüten. Namentlich verbesserte Tycho auch die Art der Ablesung; er führte zuerst den Gebrauch der Transversalen bei getheilten Bögen ein. »Er benutzte«, sagt sein Biograph¹⁾, »nicht Transversallinien, wie sie später (durch Burgi) allgemein in Gebrauch kamen, sondern (wie Fig. 88 zeigt) Reihen von Punkten, welche vollkommen dem Zweck entsprachen und er zeigte, dass der

Fehler, der durch Anwendung dieser geradlinigen Transversalen bei der Theilung der Bogen noch entstehen könnte, höchstens 3" betrüge.« Um aber das Instrument auch mit größter Genauigkeit auf den Stern richten zu können, fügte Tycho am Okularende der Alhidade ein besonderes Visier hinzu. »Das-

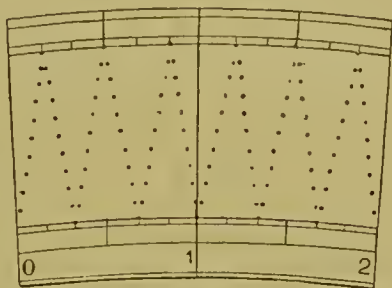


Fig. 88.

selsbe²⁾ bestand aus einer quadratischen Platte, welche einen feinen Schlitz an der der Alhidade zunächst liegenden Seite hatte, wogegen sich drei andere Schlitz zwischen den drei anderen Seiten und kleinen bewegbaren Metallstückchen, die ihnen parallel waren, befanden. Durch Verschiebung dieser Metallstückchen konnten die Schlitz weit oder eng gemacht werden, je nachdem der zu beobachtende Stern schwach oder hell war. Am Objektende war eine kleine quadratische Platte von genau gleicher Größe wie am Okularende angebracht. Wenn nun die Alhidade auf einen Stern gerichtet war und der letztere durch die vier Schlitz hindurch gesehen die drei Seiten des Objektivvisiers berührte und durch einen Schlitz längs der der Alhidade zunächst liegenden Seite schien, so wusste der Beobachter, dass die Alhidade genau und ohne jegliche Parallaxe die gerade Linie zwischen Auge und Stern vorstellte. Für Sonnenbeobachtungen befand sich in der Mitte des Objektivvisiers eine runde Öffnung, durch welche das Licht auf einen kleinen Kreis auf dem Okularvisier fiel, und das Sonnenlicht wurde im allgemeinen »durch einen Kanal« geleitet, um fremdes Licht abzuschließen. In vielen Fällen änderte Tycho die Anordnung, indem er das Objektivvisier durch einen kleinen zur Alhidade senkrechten Cylinder ersetzte. Bei den Armillen war dieser Cylinder in der Mitte der Achse angebracht, während die Okularvisiere die getheilten Kreise entlang gleiten konnten.»

Von Tycho Brahes Instrumenten ist wohl kaum noch eines vorhanden³⁾, über denen, welche in derselben Zeit Landgraf Wilhelm IV. von Hessen-Kassel (1532—1592) anfertigen ließ, hat ein günstigeres Geschick gewaltet. Die von ihm angegebenen und benutzten Apparate befinden sich noch wohl erhalten in Kassel und Marburg. Ihren Zweck und die Art, wie der

1) Dreyer, a. a. O. S. 348.

2) Dreyer, a. a. O. S. 349.

3) Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina. Heft XVIII. 1882. S. 68.

Landgraf dazu kam, sie mit vielen Kosten herstellen zu lassen, schilderte 1592 in der Gedächtnisrede nach seinem Ableben Treutler¹⁾ dahin, dass er nach den Scheiben aus Kartenpapier, die Appian seinem Werke »Astronomienm Caesareum« beigegeben hatte und welche den Zweck hatten, die astronomischen Tafeln und trigonometrischen Rechnungen mit Hilfe von drehbaren mit Teilungen und Spirallinien versehenen Scheiben zu ersparen, durch kupferne ersetzte, später aber zur Konstruktion von Räderwerken, welche den Lauf der Planeten wiedergaben, übersprang. Endlich gelang es ihm, alle diese Zwecke zu vereinigen und die Ephemeriden und die Bestimmungen des Kalenders ohne jede Rechnung zu erhalten. So ließ er zunächst eine Armillarsphäre herstellen, welche die Bewegung der Sonne und des Mondes in der Ekliptik zu veranschaulichen erlaubte²⁾, später Himmelsgloben, welche durch ein inneres Uhrwerk in Bewegung gesetzt wurden — der, den er auf Reisen mit sich zu führen pflegte, ist noch in Marburg im physikalischen Kabinet vorhanden, ein anderer etwas jüngerer befindet sich in Kassel, einige weitere hat er anderen Fürsten zum Geschenke gemacht —, endlich zwei große Automaten, welche oben auf einer prismatischen Säule die sichtbare Hälfte der Himmelskugel trägt, an den Seiten aber Zifferblätter mit Zeigern, welche den Gang der Planeten und der Zeit und das Kalendarium darstellen. Der eine dieser Automaten befindet sich im Museum in Kassel, der andere im Johanneum zu Dresden.

Alle diese Apparate konnten ihre Aufgaben nur mit einer beschränkten Genauigkeit erfüllen, welche für den damaligen Stand der Astronomie zwar ausreichte, sehr bald aber nicht mehr genügte. Die mechanischen Kunstwerke verloren dadurch ihren Wert, doch hat noch Huygens sich ein ähnliches verfertigt, Leibniz für ein solches den Entwurf gemacht. Jetzt haben sie, obwohl sie noch im Gange gehalten werden können, nur noch geschichtliche Bedeutung.

Die Konstruktion der früheren Apparate Wilhelms IV. rührte von dessen späterem Hofbaumeister Eberhardt Baldewein (geb. 1568) her, der sich vom Schneiderhandwerk zu dieser Stellung emporgearbeitet hatte, die Ausführung des Uhrwerkes übernahm der Augsburger Hans Bueh oder Bueher, die Herstellung und Zurichtung der Metallkugel der Goldschmied Hermann Diepel zu Gießen³⁾. Namentlich der Mechanismus der Globusuhr, die, im Inneren der Kugel angebracht, diese dreht, ist sehr kunstvoll, um so mehr, da über einem die Ekliptik darstellenden, die Kugel halbierenden Spalt sich ein Sonnenbildchen bewegt. Diese schwierige Aufgabe ist durch die richtige Wahl der Verhältnisse der Zahnzahlen der Räder gelöst, ja entsprechende Ungleichheiten in der Verzahnung des das Sonnenbildchen be-

1) Vgl. A. v. Drach, Die Globusuhr Wilhelms IV. von Hessen. Marburg 1894. S. 5.

2) Abg. in Cüster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Kön. Museum zu Kassel. Kassel 1878. Taf. I.

3) A. v. Drach, a. a. O. S. 11. Dasselbst ist der Globus und sein Uhrwerk abgebildet.

wegenden Ringes geben mit ziemlicher Genauigkeit die wahre, infolge der elliptischen Bahn der Erde nicht zu allen Zeiten gleiche Bewegung der Sonne in der Ekliptik.

Den jüngsten dieser Globen, der sich in Kassel befindet, hat der 1579 von Wilhelm berufene Uhrmacher und Mechaniker Jost Burgi¹⁾ (1552—1632) gefertigt, dem die Wissenschaft Verbesserungen in der Decimalrechnung und die ersten Logarithmentafeln verdankt. Burgi änderte die Konstruktion der Globen dahin ab, dass er nicht wie Baldewein das Uhrwerk mit dem Globus sich drehen ließ, sondern es fest mit dem Stativ verband. Wichtiger wie diese Arbeiten war die Herstellung einer Uhr mit Horizontalpendel (Unruhe), welche 60 Doppelschläge in der Minute machte. Nach einer brieflichen Mitteilung des Landgrafen an Tycho ging die Uhr von Mittag zu Mittag nicht eine Minute fehl und ermöglichte so die Einführung der Zeit als eigentliches Beobachtungselement²⁾, durch deren Einführung der »hessische Sternkatalog« des Landgrafen sich vor den früheren auszeichnete. Außer diesen Arbeiten Burgis ist die Erfindung des Proportionalzirkels zu erwähnen, eines Doppelzirkels mit beweglichem Kopfe, der so gestellt werden kann, dass die Abstände beider Spitzenpaare jedes beliebige Verhältnis miteinander bilden, endlich ein Triangulierinstrument, bestehend aus drei geteilten Stäben mit Dioptern. Der letztere Apparat ersetzt die Winkelmessung am geteilten Kreise durch Richtungsbestimmung von Linien und Herstellung eines dem zu messendem ähnlichem Dreieck. Mittels eines Kompasses bestimmt man seine Lage gegen die Mittagslinie.

Es ist ein gewaltiger Schritt vorwärts, den im sechzehnten Jahrhundert die mechanische Kunst that. Nicht nur, dass sie im Messing sich ein Material von umfassendster Brauchbarkeit schuf, sie lernte es auch in überraschend vollkommener Weise verarbeiten und die am Ende des Jahrhunderts im Gebrauche befindlichen Apparate unterscheiden sich weit mehr von denen, über die man an seinem Anfange verfügte, als von denen, die wir gegenwärtig benutzen. Aber auch die wissenschaftliche Mechanik war nicht zurückgeblieben, wie wir nun noch zu betrachten haben.

4. Leonardo da Vinci, Stevin und die Mechanik.

Leonardo da Vincis (1452—1519) Ruhm als Maler, Bildhauer, Baumeister, Ingenieur und Musiker war bereits bei seinen Lebzeiten ein wohlbegründeter. Man bewunderte neben der Größe seiner Werke auch die

1) E. Gerland, Jost Byrgi, Centralzeitung für Optik und Mechanik 1886. Bd. 7. S. 121. A. v. Drach, Jost Burgi. Was die Schreibung des Namens anlangt, so hat er selbst sich auf den von ihm gefertigten Instrumenten Byrgi, unter allen Urkunden Burgi unterschrieben. Die letzte Schreibweise ist somit die annehmbarste, obwohl der Name wahrscheinlich Bürgi gesprochen worden ist und auch jetzt in der Schweiz, wo die Familie noch existiert, gesprochen wird.

2) R. Wolff, Geschichte der Astronomie. München 1877.

außerordentliche Vielseitigkeit des großen Mannes. Wie erstaunte man aber, als man am Ende des vorigen Jahrhunderts sich daran begab, seine schwer zu lesenden nachgelassenen Papiere, die in Paris, London, Mailand, Rom und Florenz aufbewahrt werden, zu studieren und eine Fülle von Ideen und Entwürfen fand, welche weit über die Anschauungen der Zeitgenossen hinausgingen. Ein eigentümliches Schicksal der Schriften Leonardos hat es verschuldet, dass sie Jahrhunderte unbekannt blieben. Er hatte sie einem Freunde hinterlassen, dessen Erben aber wenig Wert darauf legten, so dass sie in verschiedenen Städten Italiens zerstreut wurden, die Mehrzahl kam nach Mailand. 1796 wurde ein großer Teil nach Paris geschafft und nur zum Teil zurückgegeben; namentlich kam der Codex atlanticus, die Sammlung Leonardoscher Arbeiten, die Aretin seiner Zeit in Atlasformat zusammengestellt hatte, nach Mailand zurück.

Es ist schwer zu sagen, in welcher Weise der Entwicklungsgang der gesamten Naturwissenschaften ein anderer geworden wäre, wenn Leonardo bei seinen Lebzeiten die Ergebnisse seiner Forschungen veröffentlicht hätte, das aber wird behauptet werden dürfen, dass ihn ihre rechtzeitige Mitteilung beschleunigt haben würde. Besäßen sie nicht als Hinterlassenschaft eines so umfassenden Geistes einen selbständigen Wert und wären sie nicht von solcher Tragweite, so könnte eine geschichtliche Betrachtung von ihnen absehen. So, wie die Sachen aber liegen, würde dies eine tadelnswerte Vernachlässigung sein, gerade so, wie sich der Zoolog einer solchen schuldig machen würde, der eine Art, deren Weiterentwicklung durch irgend welche Umstände verhindert abgebrochen ist, unberücksichtigt lassen wollte. Wir werden somit die Forschungsergebnisse Leonardos als ein abgeschlossenes Ganzes betrachten und demnach für sich, wie die zoologischen oder botanischen Funde einer seit langer Zeitepoche von jedem Verkehr abgeschlossenen Insel, behandeln. Deshalb haben wir es auch vermieden, bei der Besprechung der optischen Arbeiten u. s. w. seines Zeitalters auf die Leistungen des großen Forschers auf diesem Gebiet einzugehen.

Von größter Bedeutung sind sogleich die allgemeinen Grundsätze, welche er bei seinen Forschungen befolgte. »Zuerst«, sagt er¹⁾, »stelle ich bei der Behandlung naturwissenschaftlicher Probleme einige Versuche an, weil es meine Absicht ist, die Aufgabe nach der Erfahrung zu stellen und dann zu beweisen, weshalb die Körper gezwungen sind, in der angegebenen Weise zu agieren. Dies ist die Methode, die man bei allen Untersuchungen beachten muss. Es ist wahr, dass die Natur gleichsam mit dem Raisonnement beginnt und durch die Erfahrung endigt, aber gleichviel, wir müssen den entgegengesetzten Weg einschlagen, wir müssen, wie ich schon sagte, mit der Erfahrung beginnen und mit ihren Mitteln nach der Entdeckung der Wahrheit trachten.« Wie richtig er den Wert der Erfahrung beurteilte,

1) Venturi, Essai sur les ouvrages de Léonard de Vinci. Paris 1797. S. 4.

zeigt sodann noch schärfer der folgende Satz¹⁾: »Der Interpret der Wunderwerke der Natur ist die Erfahrung, sie täuscht niemals; es ist nur unsere Auffassung, die sich zuweilen täuscht, weil sie Wirkungen erwartet, welche die Natur nicht giebt.«

Dass dieser Satz jedoch nur gilt, wenn es gelingt, alle begleitenden Umstände, welche das gewünschte Ergebnis zu beeinflussen vermögen, auszuschließen, entgeht ihm freilich und so kann es nicht wunder nehmen, dass er aus seinen Erfahrungen auch falsche Schlüsse zieht. So findet er²⁾, dass von zwei an den beiden Enden eines Wagebalkens aufgehängten bei der nämlichen Temperatur gleich schweren Metallkugeln, die eine gehoben wird, wenn er sie erwärmt und zieht daraus den nicht haltbaren Schluss, dass die Körper beim Erwärmen leichter würden. Andererseits freilich verkannte er nicht, dass die an einzelnen Fällen gemachte Erfahrung, wenn sie Erkenntnis liefern soll, verallgemeinert werden muss. Darauf will er wohl hindeuten, wenn er sagt³⁾: »Es giebt keine Gewissheit, wo man nicht eine der mathematischen Wissenschaften anwenden könnte, oder die nicht in gewisser Beziehung davon abhinge.«

Leonardos Arbeiten erstrecken sich namentlich auf mechanische Probleme. Wie hoch er die Mechanik stellte, zeigt sein Ausspruch⁴⁾: »Die Mechanik ist das Paradies der mathematischen Wissenschaften, da man durch sie zur Frucht der mathematischen Gewissheit gelangt.« Von den Grundbegriffen der Mechanik hatte er sich zutreffendere Vorstellungen gebildet, wie alle seine Vorgänger, namentlich war er über Kraft und Bewegung völlig klar. Die Kraft und nur diese hielt er für die Ursache der Bewegung, denn kein sinnlich wahrnehmbarer Körper könne sich von selbst bewegen, sondern seine Bewegung werde durch ein anderes, nämlich die Kraft, bewirkt, jede Aktion aber erfordere Bewegung und es geht weit über die zu Leonardos Zeit geläufigen Begriffe der Statik hinaus, ja klingt an den modernen Begriff der Energie der Lage an, wenn wir hören: »Wenn du Wasser dem Gewichte nach kaufst, so kannst du dich sehr täuschen. Denn, in der That, wenn du ein bestimmtes Gewicht »totes« Wasser und ein bestimmtes Gewicht fließendes Wasser hast, so kannst du mit dem letzteren Arbeit leisten.« Hinsichtlich des Gewichtes aber stellt er fest, dass es immer auf seine Unterlage drücke.

Von solchen Grundlagen ausgehend, behandelt Leonardo die Gleichgewichtsbedingungen am Hebel und auf der schiefen Ebene. »Es sei«, so erhält er die erstere⁵⁾, » AT (Fig. 89, S. 104) der Hebel, sein Drehpunkt in A ,

1) Venturi, a. a. O. S. 31.

2) M. Ravaissou-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci, Paris 1881/91. Ms. A. fol. 57.

3) Venturi, a. a. O. S. 32. S. auch Ravaissou-Mollien, Ms. fol. 96 verso.

4) Libri, Histoire des sciences mathém. en Italie, 4 vols. Paris 1838—41. t. III. S. 40.

5) Ravaissou-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci. Paris 1888/92. Ms. E., fol. 65.

das Gewicht O in T aufgehängt, und die Kraft N diejenige, welche dem Gewichte O die Wage hält. Man ziehe AB senkrecht auf BO und AC senkrecht auf CN . Ich nenne AT den reellen, AB und AC den potentiellen Hebel. Man hat dann die Proportion

$$N : O = AB : AC.$$

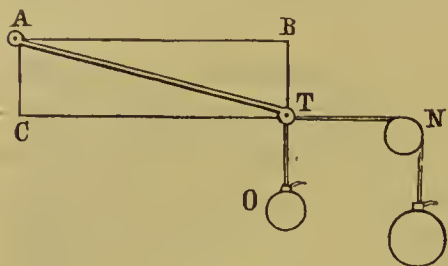


Fig. 89.

Sei nun M das Gewicht, gehalten durch das Seil AM , dessen Ende in A (Fig. 90) befestigt ist; sei ferner das Gewicht und das Seil in AM außerhalb der senkrechten Stellung AB mittels der Kraft F zurückgehalten, deren Richtung MF mit AM einen rechten Winkel bildet, so wird die Kraft F sich zum Gewichte M verhalten, wie $AC : AM$.



Fig. 90.

»Ist der Faden FM (Fig. 91) durch zwei gleiche an F und M angebrachte Kräfte gespannt, und befestigt man in der Mitte in N ein kleines Gewicht C , so wird dieses den Punkt N bis A herabziehen, während die Gewichte an F und M heraufsteigen. Mit dem Radius MN beschreibe man einen Kreis. Derselbe schneidet AM in B und es wird nun die Bewegung des Gewichtes S an M gleich AB sein. Der Punkt N sinkt herab, bis die Proportion erfüllt ist

$$C : S = BA : NA$$

d. h. die bezüglichen Bewegungen verhalten sich umgekehrt, wie die Gewichte selbst. Daraus folgt, dass wenn der Faden in F und M gespannt

ist, das Gewicht C denselben um so mehr belastet, je weniger er sich biegen kann.

Wie Leonardo auf diese Sätze gekommen ist, wissen wir nicht, jedenfalls aber hat er so den allgemeinen Begriff der statischen Momente

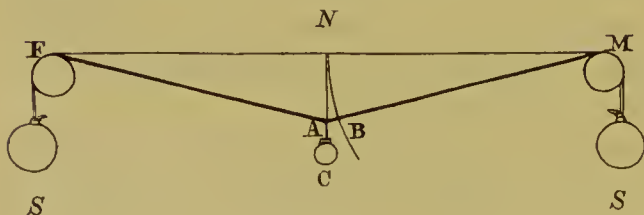


Fig. 91.

zum erstenmal festgestellt. Das brachte ihn weiter dazu, Rolle und Rad an der Welle als besondere Fälle des Hebels darzustellen. Auch die Gleichgewichtsbedingung auf der schiefen Ebene leitete er aus der am Hebel ab. Er dachte sich über die Kante, mit welcher zwei mit den Höhen aneinander gebrachte schiefe Ebenen zusammenstoßen, einen Hebel gelegt und bestimmte nach dem Hebelgesetze das Verhältnis der Hebelarme, welches

das Gleichgewicht zweier daran wirkenden, auf der schiefen Ebene ruhenden Lasten bedingt. Den Hebel ersetzte er dann durch eine die Lasten verbindende, über eine Rolle gehende Schnur, welche veränderte Anordnung das Gleichgewicht be-

stehen lässt. Fig. 92 zeigt die Anordnung, mit deren Hilfe er die erhaltenen Sätze durch den Versuch prüfte. Er kam zu einem Ergebnis¹⁾, welches das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten wenig-

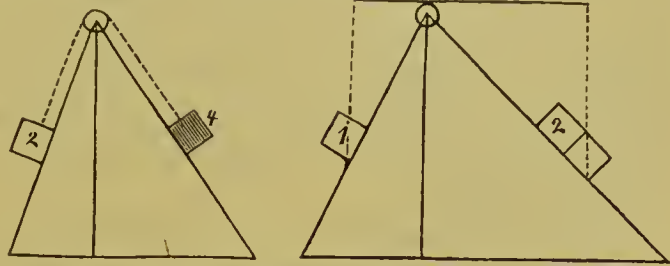


Fig. 92.

stens in seinen Anfängen darstellt. »Wenn die Gewichte und die Arme und die Bewegungen oder auch die virtuellen Geschwindigkeiten«, spricht er es aus, »auf der schiefen Ebene gleich sind, wird das eine Gewicht das andere nicht bewegen«.

Von besonderer Bedeutung sind Leonardos Untersuchungen über den Fall der Körper, weil sie, über die statischen Gesichtspunkte hinausgehend, zum erstenmal von dynamischen Gebrauch machen. Dass er sich dabei von der verkehrten Meinung der Peripatetiker, ein Körper von größerem Durchmesser falle um so viel rascher wie ein anderer, als sein Durchmesser größer ist wie der des anderen, nicht frei machen konnte, hat die Ergebnisse, zu denen er gelangte, zu beeinträchtigen nicht vermocht, da er die letzteren aus Versuchen entnahm. Er ließ Holzklötze von einem Kirchturme herabfallen und merkte sich die Stellen an der Mauer, an denen sie in den einzelnen Fallzeiten vorbeigingen. So fand er, dass die in gleichen Zeiten zurückgelegten Fallräume nach arithmetischer Proportion wachsen. Wenn er somit die Fallgesetze auch nicht richtig erkannte, so beobachtete er doch, dass die Fallbewegung eine beschleunigte ist. Ja mehr noch! Als er anstatt der Holzstücke Bleikugeln nahm, bemerkte er stets, dass sie östlich vom Fußpunkte der Senkrechten den Boden erreichten, welche von ihrem Ausgangspunkte auf die Erdoberfläche herabgelassen werden können. Diese Ablenkung erklärte er bereits aus der Achsendrehung der Erde²⁾. Da seine Fallversuche von einem größeren Zuschauerkreise mitbeobachtet wurden, ist es möglich, dass sie in irgend welcher Weise zu Galileis Kenntnis gekommen sind, einen Einfluss auf dessen, dieselbe Aufgabe mit mehr Glück lösende Arbeiten haben sie aber wohl kaum haben können.

Während man zu Leonardos Zeiten die Reibung kaum berücksichtigte, hat er aneb diese für alle Mechanismen so wichtige Erscheinung zum Gegenstande seiner Versuche gemacht. Seine Ergebnisse spricht er etwa

1) M. Ravaisson-Mollien. Les Manuscrits de Léonard de Vinci. Paris 1888. E. fol. 58 ad t.

2) Caverni, a. a. O. t. IV. S. 77.

folgendermaßen aus¹⁾: Die Reibungen der Körper sind von so verschiedener Stärke, als es Verschiedenheiten in der Schlüpfrigkeit der sich reibenden Körper giebt. Die Körper, welche auf der Oberfläche mehr geglättet sind, haben eine geringere Reibung; und weiter: Die Reibung irgend eines Körpers mit verschiedenen Seitenflächen verursacht den gleichen Widerstand, gleichviel auf welcher Seite er liegt, wenn es nur eine Ebene ist, auf welcher er sich reibt. Es hat Jahrhunderte gedauert, bis die in diesen Mitteilungen enthaltenen Gesetze durch Coulomb Gemeingut der Technik wurden.

Haben wir hier über eine reiche Fülle von mehr theoretischen Ergebnissen zu berichten gehabt, so ist die Zahl der von Leonardo vorgeschlagenen Maschinenteilen und Maschinen noch viel größer. Wir können über diese, die ein wesentlich technisches Interesse haben, hier um so mehr hinweggehen, als die meisten wohl Entwürfe geblieben sind. Ähnliches gilt von seinen vielen Vorschlägen für hydraulische Maschinen und Apparate, bei welchen die Luft eine Rolle spielt. Unter den ersteren finden

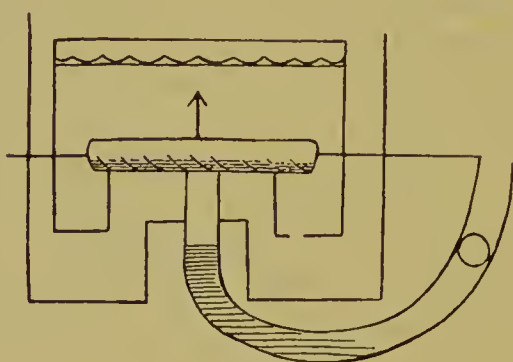


Fig. 93.

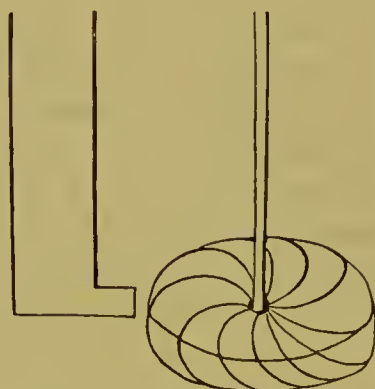


Fig. 94.

wir u. a. verschiedene Formen von Turbinen, deren Einrichtung aus den dem Codice atlantico stammenden Figuren 93, 94, 95 genügend erhellt. Aus

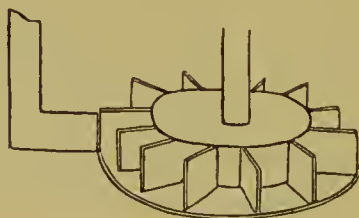


Fig. 95.

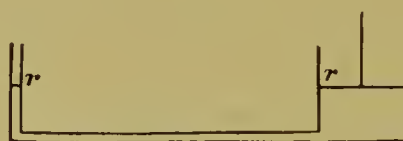


Fig. 96.

Fig. 96 ist zu entnehmen, dass der große Maler auch das Gesetz der kommunizierenden Röhren kannte und eine Vorstellung von der gleichförmigen Fortpflanzung des durch seinen Kolben auf die im anderen Schenkel befindliche

¹⁾ L. da Vinci, Saggio del Codice atlantico, Milano 1872, fol. 195.

Flüssigkeit ausgeübten Druck hatte, wie er denn auch bemerkt, dass beim Ausfließen des Wassers aus einer Öffnung am Boden eines Gefäßes die Ausflussgeschwindigkeit der Tiefe der Öffnung unter dem Wasserspiegel proportional ist. Dann wird man aber die im Codice atlantico auf Fol. 285 sich findende Fig. 97 wohl als eine Art hydraulische Presse auffassen dürfen, obwohl Leonardo zu dieser und den ihr ähnlichen Figuren dieses Blattes nicht die geringste Erklärung giebt.

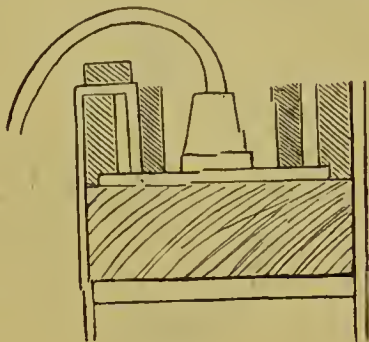


Fig. 97.

Noch sei die Konstruktion einer Lampe, eines Fallschirmes, einer Taucherkleidung, eines Proportionalzirkels mit verschiebbarem Kopfe erwähnt, lauter Probleme, denen wir in späteren Zeiten immer wieder begegnen, endlich eine Art Zentrifugalpumpe, die aber von der unserigen gänzlich verschieden ist. Denn Leonardo wollte am Ausgange des Pumprohres auf mechanischem Wege einen Wirbel erzeugen, dessen saugende Kraft das Wasser im Rohre anzuziehen im stande war.

Die für unseren Zweck noch zu erwähnenden Arbeiten Leonardos behandeln die Wellenbewegung der Luft und des Wassers; die Änderungen der ersteren und einige

optische Fragen. Die erstere stellte er sich so vor, dass z. B. ein in das Wasser geworfener Stein in ihm eine erzitternde Bewegung hervorruft, die sich nach Anweisung von Fig. 98 von Teilchen zu Teilchen fortpflanzt, ohne dass diese ihre Plätze ändern. Auch hat er die an den Kreuzungspunkten n zweier Wellenberge entstehenden höheren Stellen wohl beobachtet.

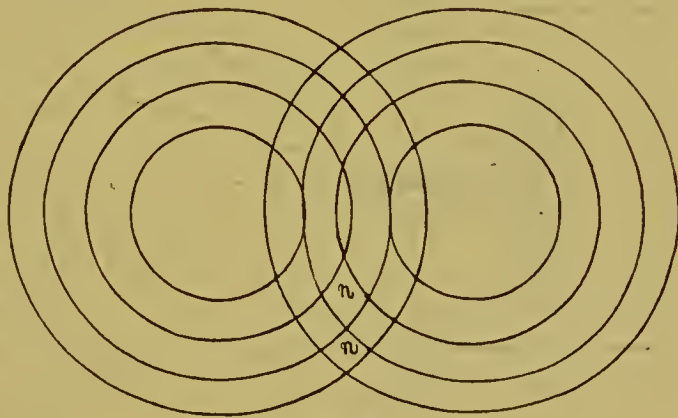


Fig. 98.

Um die Eigenschaften der Luft zu untersuchen, legte er auf beide Schalen einer Wage gleiche Gewichte von verschiedenem Volumen, ließ sie längere Zeit darauf liegen und fand, dass der Wagebalken von Tag zu Tag seine Stellung änderte. Namentlich beobachtete er solche Änderungen bei eintretendem Witterungswechsel, und dies führte ihn auf den Gedanken, daß eine plötzliche Verdichtung der Luft Ursache der Erscheinung sei. Derartige Beobachtungen führten ihn auf die Konstruktion eines Hygrometers¹⁾,

1) Venturi, a. a. O. S. 28.

welches in Fig. 99 dargestellt ist. An beiden Enden eines zweiarmigen Hebels sind zwei gleich schwere Kugeln angebracht, von denen die eine

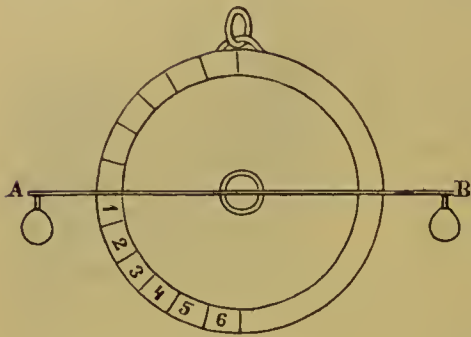


Fig. 99.

mit Wachs, die andere mit Baumwolle umhüllt ist. Der Hebel spielt vor einem geteilten Ringe, dessen Mittelpunkt mit seinem Unterstützungspunkte zusammenfällt. Da mit zunehmender Feuchtigkeit die Kugel mit der Baumwollenhülle sank, so glaubte Leonardo, dass das Wachs die Feuchtigkeit abstoße, dass sie die Baumwolle dagegen anziehe.

Wenn ihm auch die Thatsache der Brechung des Lichtes bekannt war, so hat er sie bei seiner Theorie des Sehens doch nicht berücksichtigt. Er hatte zwar beobachtet, dass das Sehen durch die Entstehung von Bildern der gesehenen Gegenstände zu stande komme. Die Art aber, wie diese Bilder entworfen würden, denkt er sich nach Art der Camera obscura in ihrer einfachsten Form. »Man lasse«, sagt er¹⁾, »durch ein kleines rundes Loch (Fig. 100) das Bild von beleuchteten Gegenständen in ein

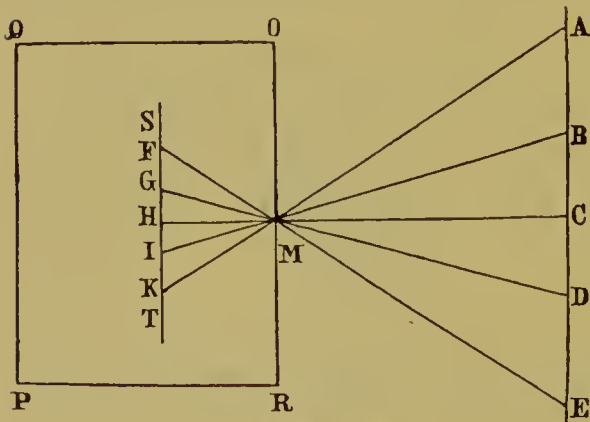


Fig. 100.

ganz dunkles Zimmer treten; dann fange man dieses Bild auf einem weißen Papiere, das man in den dunklen Raum nahe der Öffnung aufstellt, auf und man wird alle Gegenstände auf dem Papiere in ihrer wirklichen Gestalt und Farbe sehen, aber viel kleiner, und umgekehrt. Es sei nämlich *ABCDE* der durch die Sonne erleuchtete Gegenstand, *OR* die Vorderseite des dunkeln Zimmers, in der bei *M* eine

kleine Öffnung ist; *ST* sei der Papierschirm, der die Strahlen von den erleuchteten Gegenständen auffängt. Weil die Strahlen gerade sind, wird der von *A* ausgehende nach *K*, der von *E* nach *F* gelangen, und dasselbe findet in der Pupille statt.

Man wird das Geschick beklagen müssen, das diesen reichen Beobachtungsschatz zum Fortschritt der Wissenschaft nicht hat beitragen lassen. Denn der Leser muss festhalten, dass wir in der Schilderung der Arbeiten Leonardos um fast 100 Jahre wieder zurückgegriffen haben. Für den Gang unserer Darstellung war das ja gleichgiltig. Der Hauptinhalt seiner

1) J.P. Richter, The literary works of Leonardo da Vinci. 2 Vol. London 1883. fol. 71. S. auch Ravaisson-Mollien, Les Manuscrits de Léonard de Vinci. t. II., fol. 8 (recta).

Arbeiten ließ es aber geraten erscheinen, sie mit der Entwicklung der Mechanik zusammenzustellen, die in der nächsten Zeit freilich vielfach nichts anderes zu thun hatte, als die Erfindungen Leonardos noch einmal zu machen. Zunächst war es das ballistische Problem, das der Brescianer Tartaglia (1506—1559), nach ihm der Mathematiker des Herzogs von Savoyen, Benedetti (1530—1590), zu lösen versuchte. Der erstere fand auf experimentellem Wege, dass beim schiefen Wurf ein Erhebungswinkel von 45° die größte Wurfweite ergibt. Zu seinen Versuchen benutzte er einen Quadranten, der aus zwei durch einen Viertelkreis verbundenen Lincalen gebildet wurde. Das eine Lincal wurde zur Bestimmung der Neigung der Achse des Laufes in diesen gesteckt, das andere mittels eines Senkels vertikal gestellt. Auch dem Einflusse des Gewichtes des Geschosses und seines Durchmessers oder Kalibers (vom arabischen Worte Kalib, d. i. Modell), wendete er seine Aufmerksamkeit zu, fand auch, dass eine gewisse Rohrlänge für jede Ladung die größte Schussweite ergibt, dass jene mit dieser, aber nicht im einfachen Verhältnisse, wachse¹⁾. Benedetti arbeitete auf demselben Gebiete mit dem nämlichen Erfolge, doch gelang ihm ebensowenig, wie Tartaglia, die Form der Wurflinie aufzustellen. Dagegen klärte er einige Punkte der Zentralbewegung auf, indem er zeigte, dass ein im Kreise bewegter Körper, der plötzlich losgelassen werde, in der Richtung der Tangente fortfliege. Andere Versuche ließen ihn die Gleichgewichtsbedingung am Winkelhebel unter Benutzung der statischen Momente in derselben Weise bestimmen, wie dies Leonardo gethan hatte. Auch machte er sich von der fehlerhaften Anschauung der Abhängigkeit der Fallgeschwindigkeit von der Größe der fallenden Körper los, indem er zeigte, dass im luftleeren Raume alle Körper gleich rasch fallen. Die Arbeiten Guido Ubaldis, Marcheses del Monte (1545—1607), suchten die einfachen Maschinen auf den Hebel zurückzuführen und leiteten auch zum Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten hin. Über die Errungenschaften Leonardos kamen sie nicht hinaus.

Leonardo erreichte, ja übertraf in Einzelheiten auf dem Gebiete der Statik der niederländische Deichinspektor Simon Stevin (1548—1620), dessen Schriften aber, wie die seines Vorgängers, lange so gut wie unbekannt blieben. Allerdings aus einem anderen Grunde! Denn Stevin hatte seine Untersuchungen wohl veröffentlicht, aber in seiner Muttersprache, die außerhalb seines Vaterlandes wenig bekannt war. Erst als sein Werk 1634 in französischer Sprache herausgegeben worden war²⁾, fand es die verdiente Beachtung.

Ogleich Stevins wichtigste Arbeiten auf hydrostatischem Gebiete liegen, so hat doch von jeher seine Untersuchung des Gleichgewichtes auf der schiefen Ebene am meisten Aufsehen erregt, nicht weil sie einwandfrei ist,

1) Jähns, Geschichte der Kriegswissenschaften. Münch. u. Leipzig 1889. 1. Bd. S. 596.

2) Stevin, Les Oeuvres mathématiques. Leyde 1634.

sondern weil sie überaus originell wirkt und instinktiv jeden überzeugt. Hat doch Mach¹⁾ gerade sie benutzt, um den heuristischen Wert solcher instinktiver Erkenntnisse, ohne welche ein Fortschreiten der Naturwissenschaft kaum denkbar wäre, daran nachzuweisen. Stevin denkt um ein

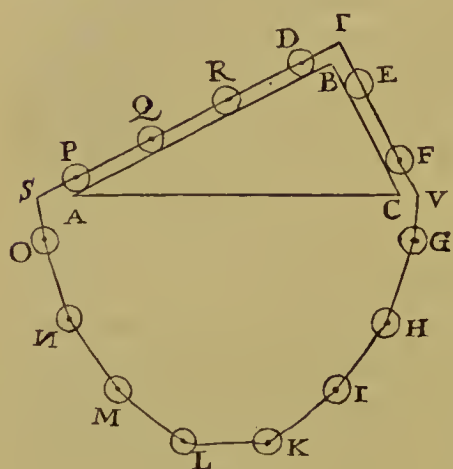


Fig. 101.

Schnur mit gleich schweren, in gleichem Abstände befindlichen Kugeln oder eine Kette gelegt, die notwendig im Gleichgewicht sein muss, weil sie sich ja sonst unaufhörlich bewegen würde. Die beiden symmetrischen Teile SL und VK sind also vermöge dieser Eigenschaft im Gleichgewichte, können somit, ohne dass irgend welche Veränderung eintritt, weggelassen werden. Es müssten sich also FS und FV im Gleichgewichte halten, und da die Anzahl der auf diesen Seiten liegenden Kugeln oder Kettenglieder proportional den Längen der beiden schiefen Ebenen

AB und BC ist, dass die auf den beiden schiefen Ebenen von gleicher Höhe wirkenden Gewichte sich im Gleichgewicht halten, wenn sie sich umgekehrt wie die Längen der schiefen Ebenen verhalten. Denn es muss ja nun auch Gleichgewicht bleiben, wenn man die Kugeln auf der einen und die auf der anderen schiefen Ebene jedesmal zu einer einzigen vereinigt. Indem er dann die Gewichte in einen zur schiefen Ebene senkrechten und einen parallelen Teil zerlegt, gelangt er, aber auch das ohne eigentlichen Beweis, zu der Fassung des Satzes vom Parallelogramm der Kräfte, dass drei Kräfte im Gleichgewichte sind, wenn sie sich wie die drei Seiten eines Dreiecks verhalten. Ihm selbst schien dieser Versuch so merkwürdig, dass er ihm auf dem Titelblatte des betreffenden Werkes mit der Umschrift²⁾: »Ein Wunder und doch kein Wunder« eine Stelle gab.

Ebenso überraschend wirkt der Satz, den er in der Hydrostatik giebt

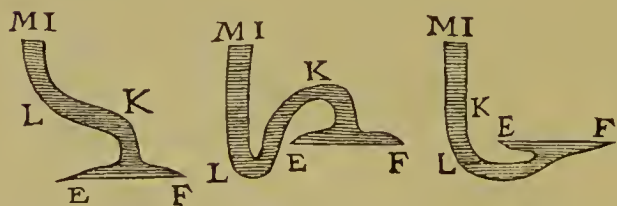


Fig. 102.

und der bis auf den heutigen Tag den Namen des »hydrostatischen Paradoxons« führt. Er sagt aus, dass der Druck des Wassers auf den horizontalen Boden eines Gefäßes nur von der Höhe der Wassersäule über dem gedrückten

Flächenstücke, nicht aber von der Form des Gefäßes abhängt. Fig. 102.

1) Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung. 3. Aufl. Leipzig 1897. S. 26.

2) Stevin, Beghinselen der Weegkonst. Leyden 1586: Wonder en is gheen Wonder.

giebt die Formen der Gefäße, mit denen der Deichinspektor den Nachweis des Satzes lieferte. Fig. 103 stellt den Apparat vor, mit dem er den Auftrieb untersuchte. Er presste gegen das Glasrohr HF die Bleiplatte J und tauchte beides in das mit Wasser gefüllte Gefäß $ABCD$. Der Druck, den die Flüssigkeit von unten ausübte, hielt die Bleiplatte angepresst. Goss er aber Wasser in HF , so fiel die Bleiplatte ab, wenn die Wassersäule im Innern die Höhe des äußeren Wassers erreicht hatte, woraus zu schließen war, dass der nach oben gerichtete Druck so groß sei, wie der von der Wassersäule im Innern von der Höhe des äußeren Wassers ausgeübte.

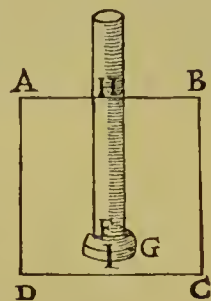


Fig. 103.

Das die Höhen der Wassersäulen in kommunizierenden Röhren regelnde Gesetz erhielt er durch Versuche mit solchen mit oder ohne Ventil. Er fand, dass die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch steht, mag der eine auch einen viel größeren Durchmesser wie der andere haben; ein Pfund Wasser im engen könne also denselben Druck ausüben wie 100000 Pfund im weiteren Schenkel, und so gab er den in Fig. 104 dargestellten Apparat an, der nichts anderes wie eine Reaalsche Presse ist. In den Deckel eines prismatischen flachen Gefäßes setzte er ein enges Rohr J , während auf dessen Boden Rd ein hölzerner Teller QP lag. Der durch die Wassersäule ausgeübte, mit einer Wage bestimmte Druck war auf dem Holzteller QP im Gefäße JRL so groß wie der im Gefäße $ABCD$, wenn nur die Teller QP und GH dieselbe Größe hatten und die Höhe des Wassers in beiden Gefäßen die gleiche war.

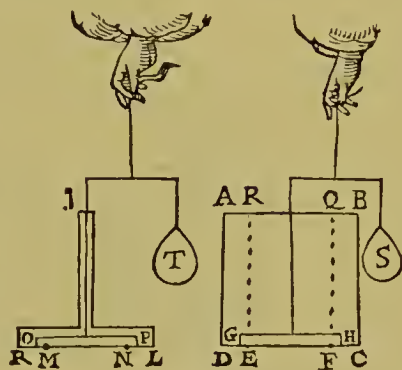


Fig. 104.

Als Gleichgewichtsbedingungen schwimmender Körper fand Stevin die folgenden beiden Sätze, die durch die Fig. 105, S. 112, erklärt werden. 1. Der Schwerpunkt eines schwimmenden Körpers und der Schwerpunkt der gedachten Wassermasse, die den Raum des eingetauchten Teiles dieses Körpers einnehmen würde, liegen in einer Vertikallinie. 2. Damit ein Körper stabil schwimme, muss sein Schwerpunkt unterhalb des Schwerpunktes der gedachten Wassermasse liegen, und zwar schwimmt der Körper um so stabiler, je tiefer sein Schwerpunkt unter dem jener Wassermasse liegt.

Stevins optische Arbeiten stehen an Originalität weit hinter den mechanischen zurück. Sie bringen nichts Neues und bieten nichts, was eine nähere Betrachtung forderte.

Langsam, aber stetig ist die Wissenschaft in dem Zeitraume, dessen Betrachtung wir mit der der Werke Stevius schließen, fortgeschritten.

Dass es in erster Linie die Meehanik war, die sich von der Fessel der die Lehre des Aristoteles allein anerkennenden Scholastik frei zu machen suchte, lag in der Natur der Sache begründet. Bieten sich ihre Thatsaehen doch zuerst der unbefangenen Beobachtung dar! Es waren wichtige Aufgaben in Angriff genommen, manches war gelöst, mehr zu thun war übrig.

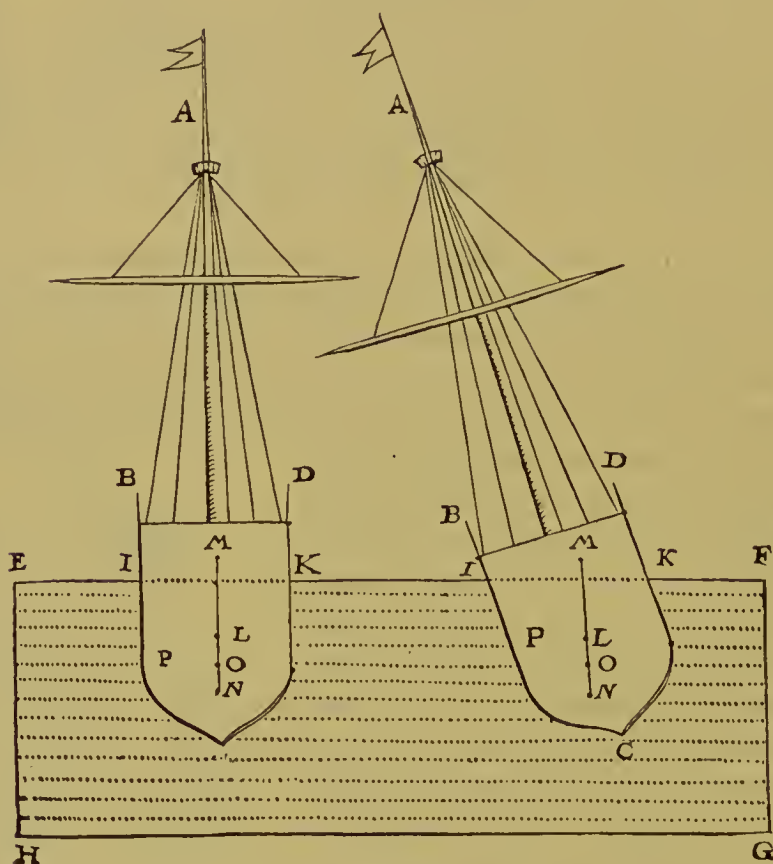


Fig. 105.

Aber wie man theoretisch für die nun erst recht eigentlich beginnende Arbeit vorbereitet war, so war auch die meehanische Kunst so weit gefördert, dass sie selbst schwierigeren Aufgaben genügen konnte. Das zu Grabe gehende Mittelalter hatte die Wichtigkeit des Experimentierens erkannt, es hatte gelernt, Experimente anzustellen. Dies richtig zu thun und die Versuchsergebnisse zu wahren Fortschritten der Wissenschaft zu verwerten, lag der nun anbrechenden neuen Zeit ob; von dem Auftreten des Mannes an, der dazu sich fähig zeigte, muss die neue Zeit gerechnet werden.

III.

Geschichte der Experimentierkunst der neueren Zeit.

Galileo Galilei.

1. Spezifisches Gewicht, Fallgesetze und Pendel, Fernrohr, Mikroskop und Thermometer.

Dass die Geschichte der neueren Physik mit Galilei (1564—1642) zu beginnen habe, darüber herrscht gegenwärtig wohl kein Zweifel mehr. Nicht nur, dass es ihm zuerst gelang, an Stelle der früheren lediglich statischen auch dynamische Betrachtungen zu setzen (wie Leonardo da Vinci, dessen Arbeiten er aber nicht kannte) und so alle vorkommenden Aufgaben der Untersuchung zugänglich zu machen, er wandte auch zuerst mit vollem Bewusstsein und in konsequenter Durchführung die Methode der Induktion an, die seit Sokrates gefordert, aber nie wirklich durchgeführt worden war, und indem er an sie die Deduktion anschloss, lehrte er physikalische Gesetze aus Versuchen abzuleiten und so die Waffe zu schmieden, deren Gebrauch die Physik seitdem alle ihre Errungenschaften verdankt. So groß erwies sich an ihm selbst bereits die Macht der neuen Methode, dass er zu richtigen Ergebnissen selbst dann kam, wenn er sich von den Anschauungen der Scholastik nicht losmachen konnte, dass er unter Anwendung unrichtiger Ableitungen richtige Gesetze erhielt.

Es ist nicht richtig, dass Francis Bacon von Verulam (1561—1626) es gewesen sei, der die Methode der Induktion in die Naturwissenschaft eingeführt habe. Galilei hatte sie längst geübt, als sie Bacon in seinem *Novum organon* aneinandersetzte; mit der unendlichen Weitläufigkeit, mit der dieser die Versuche anzustellen empfahl, sind solche wohl nie ausgeführt worden. Das Verdienst, sie der Philosophie gegeben zu haben, mag ihm zukommen, auf die Naturwissenschaften hat er keinen Einfluss ausgeübt. Der modernen Experimentierkunst hat Galilei die Wege gewiesen. Was vor ihm mehr oder weniger als zufälliges Ergebnis der Versuche erschien, das lehrte er fest begründen. Mit Recht hat man solche der Natur vorgelegte Fragen genannt, die Antwort darauf bleibt sie nie schuldig, und es ist in unsere Hand gegeben, sie ohne jeden Widerspruch, ohne jede Dunkelheit zu erhalten, indem wir die Fragestellung immer wieder ändern. So liegt in der Art der Fragestellung die große Kunst des Experimentators. Doch ist dies nur die eine Seite seiner Thätigkeit; ebenso wichtig ist die andere, die er berücksichtigen muss, dass die Antwort ohne jedes nicht dazu gehörige Beiwerk erfolgt, dass Apparate zur Anwendung kommen, welche die unvermeidlichen Beobachtungsfehler möglichst klein werden lassen und ihre Größe zu bestimmen gestatten. Derartige Bestrebungen aber finden wir zuerst bei Galilei. Wir sahen, dass die mechanische

Kunst zu seiner Zeit bereits so weit fortgeschritten war, dass sie ihm vielfach wirksame Hilfe bieten konnte. Oft genug freilich war er auch auf die Geschicklichkeit seiner eigenen Hände angewiesen. Wie brauchbar seine Apparate bereits waren, beweisen die, welche noch im Museo di Galilei in Florenz und im physikalischen Kabinet der Universität Padua¹⁾ erhalten sind; andere kennen wir nur aus Abbildungen.

Galilei war von 1589—1592 Professor der Mathematik in Pisa, von da bis 1610 Professor in Padua, von 1610 bis zu seinem 1642 erfolgten Tode erster Mathematiker des Großherzogs von Toskana in Florenz. Seinen ersten Apparat konstruierte er bereits als Student, die bilancetta, eine Wage, die in einfacher Weise das Problem des Archimedes mit der Krone des Hiero lösen sollte und deren Prinzip sich aus Fig. 106 ergibt. Ihr Bal-



Fig. 106.

ken war bei *C* aufgehängt und trug bei *D* ein Gegengewicht. Wurde an *B* eine gewisse Menge Goldes mittels eines Fadens befestigt und in Wasser getaucht, so musste, um das Gleichgewicht wieder herzustellen,

D bis nach *E* geschoben werden; nahm man anstatt des Goldes die nämliche Menge Silber und verfuhr ebenso, so war das Gegengewicht nach *F* zu bringen, nach *G* also für eine Legierung beider. Castelli²⁾ (1577—1644) gab der Wage später die in Fig. 107 dargestellte Form. Er nahm statt der einen zwei

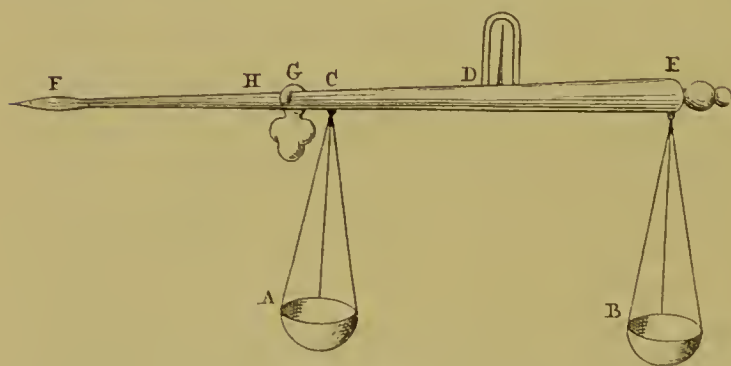


Fig. 107.

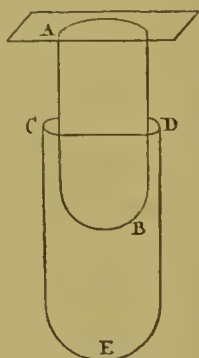


Fig. 108.

Wagschalen *A* und *B* und brachte in die eine zunächst eine Unze Goldes, in die andere eine Unze Silbers. Tauchte er dann beide ins Wasser, so musste er zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes das Laufgewicht von *G* nach *H* bringen. Anstatt einer nahm er dann zwei, drei u. s. w. Unzen der Metalle und notierte den Stand des Laufgewichtes. Brachte er endlich nach *B* eine Legierung, während in *A* das Silber blieb, so konnte er aus dem Stande des Laufgewichtes sogleich ablesen, wieviel Unzen Goldes sie enthielt.

Zum Nachweis des Archimedischen Prinzips benutzte Galilei wohl zur selben Zeit den durch Fig. 108 vorgeführten Apparat, wie er in großer

1) Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina 1882. Heft 18. S. 69.

2) Galilei, Opere complete. XIV. Opere fisico matematiche. IV. S. 210. Firenze 1856.

Ausführlichkeit in einem Briefe an Tolomeo Nozzolini aneinandersetzt¹⁾. War der Körper AB bei A befestigt, und wurde von unten das bis an den Rand mit Wasser gefüllte Gefäß CED so gehoben, dass AB in das Wasser eintauchte und ein Teil des Wassers abfloss, so war dadurch das Gefäß nicht schwerer geworden. Galilei nahm somit hier einen Versuch vorweg, den später Gay Lussac zu demselben Zwecke benützt hat.

Vielleicht auch bereits seiner Studentenzeit, sicher der Zeit seines Aufenthaltes in Pisa, gehören Galileis schönste Entdeckungen an, die der Fallgesetze als erstes Beispiel der dynamischen Auffassung der Bewegung und die des Isochronismus der Pendelschwingungen. Die Lehre von den letzteren führte er auf die ersteren zurück. Diese aber hat er durch mannigfache Versuche geprüft, indem er Körper vom schiefen Turm in Pisa fallen ließ und die dazu nötige Zeit mittels einer Wasseruhr bestimmte. Da diese Beobachtungen wegen der zu großen Geschwindigkeit der Bewegung nicht leicht waren, so verlangsamte er die letztere, indem er die zu seinen Untersuchungen dienenden Körper über Pergamentstreifen, die in hölzernen Rinnen lagen, herabrollen ließ. Alle diese Versuche gaben damals keine Gelegenheit zur Herstellung besonderer Apparate; denn die Anwendung des Pendels zu Uhren gehört einer viel späteren Zeit an.

Dass er das Fernrohr selbständig erfunden hat, nachdem er von einem in Holland hergestellten, welches Peter Seoliers²⁾ um 1609 nach Venedig, später nach Rom brachte, gehört hatte, ist eine bekannte Thatsache. Er erzählt selbst ausführlich die Art, wie er auf diese Erfindung kam, und seine Mitteilung lässt es vollständig erklärlich erscheinen, warum er dieselbe Linsenkombination anwendete, deren sich auch die Holländer bedient hatten³⁾. Nicht ganz so verhielt es sich mit dem Mikroskop, dessen Erfindung ebenfalls Galilei zugeschrieben wird, obgleich er selbst darauf nie Anspruch gemacht hat⁴⁾. Ein ihm in Rom vorgelegtes Instrument dieser Art hat er, ohne noch von der neuen Erfindung zu wissen, erklärt, später freilich auch verbessert und verschiedene solche Instrumente selbst verfertigt.

Das Mikroskop war um 1590 wahrscheinlich von dem Brillenmacher Zacharias Janssen in Middelburg erfunden, und man glaubt daselbst

1) Galilei, Opere complete. XIV. Opere fisico matematiche XII. S. 112. Firenze 1856.

2) Huygens, Oeuvres complètes. II. La Haye 1889. S. 490. Wir möchten die Vermutung aussprechen, dass dieser Seoliers niemand anderes wie Drebbels Schwiegersohn Kuppler war, den Leibniz Kiefler, Monconys Keifer nennt. Machte sich dieser doch ein Gewerbe daraus, die wirklichen und eingebildeten Erfindungen seines Schwiegervaters, zu deren Ausnutzung überall vorzuführen, wie er denn auch 1622 das Mikroskop, dessen Erfindung er für Drebbel in Anspruch nahm, nach Rom brachte. (v. Gebler, Galileo Galilei und die römische Curie. Stuttgart 1876. S. 148.)

3) Gerland, Geschichte der Physik. Leipzig 1892. S. 102.

4) Galilei, Opere. Bd. VI. S. 297. Es ist nicht recht zu verstehen, wie Cohn Die Pflanze. Breslau 1896. S. 210 und 246) unter Nichtberücksichtigung der keinen Zweifel zulassenden deutschen Arbeiten auf die Autorität Saccardos hin Galilei die Erfindung zueignen kann.

noch den oder einen Originalapparat des Erfinders zu besitzen. Wenn dies in Fig. 109 abgebildete, sehr alte Instrument wohl aus Janssens Zeit



Fig. 109.

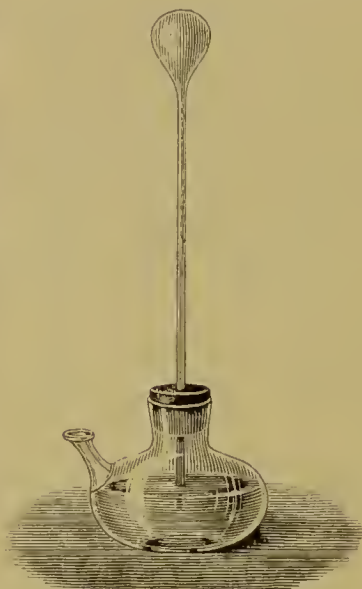


Fig. 110.

im Museo di Galilei in Florenz befindlichen Apparat, der als Originalapparat Galileis bezeichnet wird, zeigt Fig. 110. Er ist ein Luftthermometer und

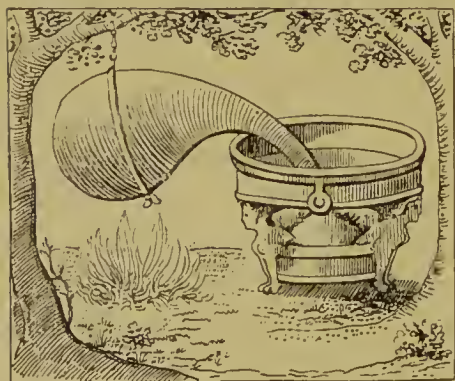


Fig. 111.

es könnte zweifelhaft sein, ob er vor der Entdeckung des Luftdruckes zur Bestimmung der Temperatur dienen konnte, oder ob er nicht, wie die jüngeren, der von Drebbel³⁾, welcher 1604 oder von Fludd⁴⁾, welcher 1617 veröffentlicht wurde im Anschluss an die Versuche Herons und della Portas als Demonstrationsapparat für die Ausdehnung der Luft durch die Wärme, oder gar als Perpetuum mobile dienen sollte. Der Apparat Drebbels ist in Fig. 111 abgebildet, ihm sehr ähnlich ist der Fludds. Ihr Hauptbestandteil ist eine mit Wasser gefüllte

1) Gerland, Bericht über den historischen Teil der internationalen Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London im Jahre 1876 in Hofmanns Bericht über diese Apparate. Braunschweig 1878. Bd. I. S. 50.

2) Vgl. Wohlwill, Poggendorffs Annalen. Bd. 124. 1865. S. 163; Burekhardt, Die Erfindung des Thermometers und seine Gestaltung im 17. Jahrhundert. Basel 1867; Caverni, Notizie storiche intorno all' invenzione del Termometro. Bull. di Bibl. e di St. d. Sc. Mat. e Fis. T. XI. 1878.

3) Drebbel, Tractat von der Natur der Elemente. 1604.

4) Fludd, Philosophia Mosaica. Goudae 1638.

Retorte aus undurchsichtigem Material, deren Rohrmündung sich unter Wasser befindet. Die Bewegung dieser ein besonderes Gefäß füllenden Sperrflüssigkeit konnte somit allein beobachtet werden. Erst nachdem Fludd viel später die Retorte durch ein Gefäß mit durchsichtigem Hals ersetzt und diesen mit einer Teilung versehen hatte, war es möglich, auch den Stand der Flüssigkeit in ihm zur Schätzung von Temperaturen zu benutzen. Galilei wollte aber von Anfang an, wie in einem an ihn gerichteten Briefe vom 9. Mai 1614 sein Freund Sagredo bezeugt, sein Instrument zur Messung von Wärme benutzen. Er selbst hat uns hierüber freilich nichts Schriftliches hinterlassen, doch haben wir auch das Zeugnis seines Schülers Viviani¹⁾ (1622—1703) dafür, wonach er in der Zeit von 1593—1597 es erfunden und in seinen Vorlesungen vorgezeigt hat.

Ob der in Fig. 110 abgebildete Apparat ein Originalapparat Galileis oder nicht ein in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erst angefertigter ist, kann bei der schönen Ausführung, die er zeigt, zweifelhaft sein. In der That ist der von Caverni (a. a. O.) abgebildete in der technischen Ausführung viel unvollkommener. Doch dürfte dieser Umstand mehr der Zeichnung, als dem Apparat selbst anzurechnen sein, denn auch von einem später zu beschreibenden, sehr kunstvollen Apparat, den die Mitglieder der Accademia del Cimento benutzten und dessen Alter uns gut beglaubigt ist, gilt das nämliche. Dass übrigens bereits zu Zeiten Galileis die berühmten Glaswerkstätten in Murano bei Venedig wohl im stande gewesen wären, einen Apparat, wie den dargestellten zu liefern, kann kein Zweifel sein. In jedem Falle dürfte er als das älteste der uns erhaltenen Thermometer nach Galilei anzusprechen sein.

Mit der weiteren Ausbildung der Erfindung des Paduaner Professors haben sich hauptsächlich seine Freunde Sagredo und Sanctorius (1561—1636) befasst. Suchte der erstere das Thermometer möglichst zu vereinfachen, indem er nur eine horizontal gelegte, am einen Ende zur Kugel aufgeblasene, am anderen offene mit Teilung versehene Glasröhre anwendete, in der die Luft durch einen Tropfen Flüssigkeit abgesperrt wurde²⁾, so hatte der letztere, der Professor der Anatomie in Padua war, bei seinen Abänderungen des ursprünglichen Apparates in erster Linie dessen Anwendung zur Bestimmung der Temperatur von Kranken im Auge. Dazu stellte er Thermometer ohne Kugeln her, um die Temperaturbestimmung durch Einführen des Gefäßes in Körperhöhlen zu ermöglichen³⁾; durch Verlängerung und entsprechende Biegung des Rohres sorgte er dabei, wie Fig. 112, S. 118, erkennen lässt, für größere Empfindlichkeit⁴⁾; auch erreichte er durch hinlängliche Verengung des die Absperrflüssigkeit enthaltenden Gefäßes, dass deren Ausfließen soviel wie möglich verhindert wurde⁵⁾.

1) Nelli, Vita e commercio letterario di Galileo Galilei. Vol. I. Losanna 1793. S. 72; vgl. Caverni, a. a. O. S. 535.

2) Caverni, a. a. O. S. 543. Fig. 3.

3) Caverni, a. a. O. S. 537. Fig. 2.

4) Burekhardt, a. a. O. Fig. V.

5) Burekhardt, a. a. O. Fig. IV.

Eine solche Einrichtung zeigt Fig. 113. Eine später vielfach im Gebrauch befindliche Form des Wärmemessers hat uns Pater Leurechon¹⁾ (1591 — 1670) aufbewahrt. Bei ihr kann (Fig. 114) die Ab-sperrflüssigkeit sich in eine kugelförmige Erweiterung des kurzen Schenkels des U-förmig gebogenen Rohres begeben, wenn sie bei hoher Temperatur aus dem Messrohr verdrängt wird. Die Länge dieses Rohres war so bemessen, dass die Flüssigkeit bei der im Sommer vorkommenden höchsten Temperatur bis zu ihrem untersten Ende sank, bei niedrigsten Wintertemperaturen bis zu der Kugel an ihrem oberen Ende stieg. Es trug eine Teilung und zwar teilten die Mediziner den Raum zwischen diesen äußersten Ständen in 4, die Philosophen (Physiker) in 8 Teile, welche dann wieder Unterabteilungen hatten²⁾.

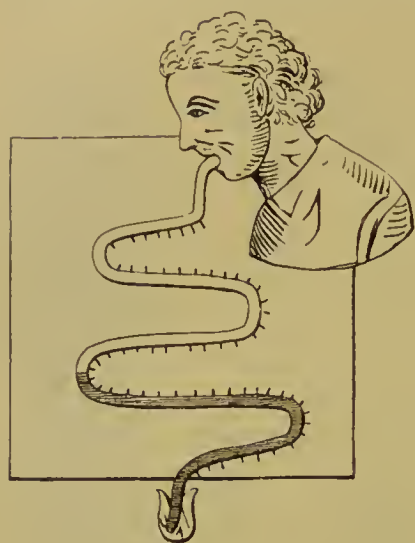


Fig. 112.

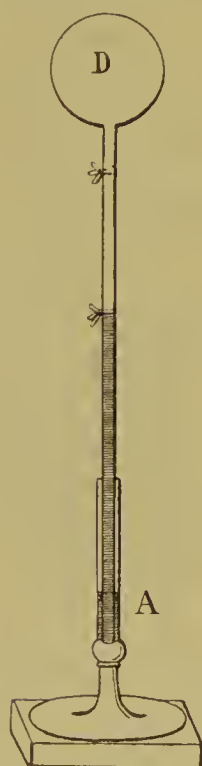


Fig. 113.

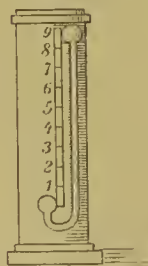


Fig. 114.

Erwähnt sei hier noch der Proportionalzirkel, den Galilei 1596 angab und dessen Erfindung er gegen den sie in Anspruch nehmenden mailändischen Arzt Baldassare Capra (gest. 1626) energisch verteidigte. Seinen Namen trägt dieses Instrument freilich mit viel weniger Recht, wie der Burgis mit verstellbarem Kopfe. Bestand er doch aus zwei durch einen Gelenkknopf verbundenen Lincalen, auf deren beide Seiten Linien gezogen waren. Mit ihrer Hilfe konnten die Unterabteilungen von Zollen, die Seiten von ähnlichen Figuren mit doppeltem, dreifachem u. s. w. Inhalt, die Seitenlängen der regelmäßigen in den nämlichen Kreis beschriebenen Vielecke, die den Graden eines Halbkreises entsprechenden Sehnen, die Längen der entsprechenden Seiten ähnlicher Körper und die Gewichte gleich großer aus verschiedenen Metallen hergestellter Körper ermittelt werden. Er war also eine Art Rechenschieber und ist jetzt durch die technischen Kalender, Taschenbücher u. s. w. ersetzt worden³⁾.

1) Leurechon, *La Recréation mathématique*. Mussiponti 1624. Von Schwenter, übersetzt und unter dem Titel: *Mathematische Erquickstunden*. Nürnberg 1636 herausgegeben.

2) Schwenter, a. a. O. S. 456.

3) Galilei, *Opere* XI. Darin auch die Schrift von Capra und Galileis Reclamation: *Difesa d. Galileo Galilei contro alle columnie ed imposture di Baldassar*

2. Mechanische Untersuchungen. Pendelnhr.

Galileis mechanische Untersuchungen, die er in seinen 1638 in Leiden erschienenen *Discorsi e dimostrazioni matematiche*¹⁾ zusammenfasste, sind vorzugsweise theoretischer Natur. Die Ansichte für die Experimentierkunst in ihnen ist deshalb gering und wir haben nur über den in Fig. 115 abgebildeten Apparat zu berichten, der um deswillen ein besonderes Interesse hat, dass Galilei sich auf die mit ihm angestellten Versuche stützte, als er an Stelle des Abscheus vor dem leeren Raum den Widerstand der Körper gegen ihn setzte. *ABCD* ist ein Glaseylinder mit dem kleinen angesetzten Hohlraum *V*. In seinem gut cylindrischen Inneren konnte sich ein genau herein passender Holzcyylinder *EFGH* bewegen, der in der Mitte durchbohrt war und einen bei *K* hakenförmig gebogenen, bei *J* kegelförmig verdickten Eisenbolzen trug. Der Kegel *J* passte genau in eine entsprechende Vertiefung des Kolbens, der Bolzen dagegen hatte soviel Spielraum, dass, wenn man die Öffnung des Cylinders *CD* nach oben kehrte und Wasser auf den Holzcyylinder goss, dieses in den Glaseylinder eindrang und ihn anfüllte. War das geschehen, so wurde der Haken scharf angezogen und der Cylinder umgekehrt, dann an den Haken ein Gefäß gehängt und dieses durch Füllen mit Sand soweit beschwert, dass sich die Oberfläche *EF* des Kolbens von der Wasseroberfläche trennte. Da nach Galileis Auffassung beide Flächen nur durch die Kraft des Vakuums aneinander gehalten werden, so ergibt sich dessen Größe, wenn man das Gewicht des Kolbens mit dem Gefäße und dem Sande bestimmt.

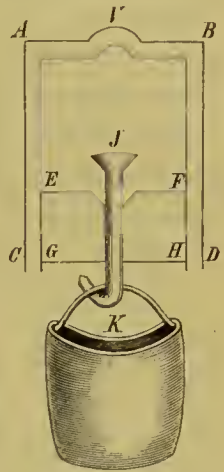


Fig. 115.

Die *Discorsi* sind in Dialogform geschrieben. Galilei lässt den einen der drei sich unterredenden, Simplicio, Einwände gegen diese Ansicht machen, die derjenige von ihnen, dem er seine eigene Meinung in den Mund legt, Salviati, zurückzuweisen sucht. Dieser Teil des Gespräches lässt uns erkennen, auf welche Weise man damals die Kolben dichtete und wie Galilei die Dichtung prüfen wollte. »Wer sagt uns«, meint Simplicio, »dass Luft nicht durch Glas und durch den Kolben hindurchdringen könne, seien dieselben auch noch so gut mit Wachs oder einem anderen weichen Stoffe umgeben? Und folglich, wenn auch der Stöpsel gut die kegelförmige Öffnung verschließt, würde es vielleicht gut sein, mit

Capra. Vgl. Bion, *Traité de la construction et des principaux usages des instruments de Mathématique nouvelle*. La Haye 1723. S. 29. Venturi, *Memorie e lettere inedite o disperse di Galileo Galilei*. Modena 1818. T. I. S. 18.

¹⁾ Galilei, *Opere*. Bd. XIII. In der Übersetzung A. v. Oettingens bilden die *Discorsi* das 11., 24. und 25. Bändchen von Ostwalds *Klassikern der exakten Wissenschaften*.

Wachs oder Terpentin zu schmieren. Warum ferner könnten nicht die Wasserteilchen sich voneinander trennen und eine weniger dichte Masse bilden? Warum dringt die Luft nicht ein oder andere Dünste und Substanzen, die noch feiner sind als die Poren des Holzes, ja selbst als die Poren des Glases?« Darauf antwortet Salviati: »Wenn auch Wasser von Natur ausdehnbar ist, freilich nur unter Anwendung einer gewissen Kraft, wie das bei der Luft der Fall ist, so wird der Kolben sich senken und wenn wir am oberen Teile des Gefäßes ein kleines Stück hervorragen lassen, wie hier bei *V*, so würde man an dieser Stelle jene zarte Materie sich sammeln sehen, welche die Poren des Glases oder des Holzes durchsetzt hätte, oder Luft, die am Kolben vorbeistreichen könnte. Wenn aber keine solche feine Materie sich zeigt, so dürfen wir den Versuch als mit allen Vorsichtsmaßregeln ausgeführt betrachten; und wir werden zugeben, dass das Wasser nicht dehnbar und dass das Glas selbst für die allerfeinste Substanz undurchdringlich sei.«

Galilei wollte mithin den Kolben in derselben Weise dichten, wie man dies bei den Pumpkolben gewohnt war. Dadurch glaubte er »die vollkommenste Berührung« zwischen Kolben und Cylinder zu erreichen; die Luft freilich mochte das Wasser am Eindringen hindern. Befremdlich aber ist es, dass sich die Oberfläche des Kolbens vom Wasser getrennt haben soll, während man hätte erwarten sollen, dass es sich von der Decke löste. Auch fällt es auf, dass Galilei das Aufsteigen der im Wasser enthaltenen Luftblasen nicht erwähnt, die sich bilden mussten, da er weder von einem

Auskochen noch von rasch aufeinander folgenden Ausführungen des Experimentes redet. Man wird versucht zu glauben, dass der große Forscher es gar nicht angestellt, sondern nur als eine theoretische Forderung mitgeteilt hat.

Die Versuche mit dem Pendel zur Beglaubigung der Pendelgesetze ließen sich leichter ausführen. Schon die Beobachtung der Schwingungen der an langen Seilen hängenden Kronleuchter der Kirehen gab dazu Gelegenheit, worauf Galilei selbst aufmerksam macht¹⁾. Nachdem er aber einmal den Isochronismus der Pendelschwingungen gefunden, erkannte er sofort, wie nützlich das Pendel als Zeitzähler werden könne. Er stellte sich einen solchen her, musste aber sein Pendel durch ihm von Zeit zu Zeit erteilte Stöße in Bewegung halten. Wie er es mit einem Zählwerk in Verbindung brachte, zeigt Fig. 116. An dem Aufhängefaden oder -drahte des Pendels *AB* ist eine Borste *C* befestigt, die so lang

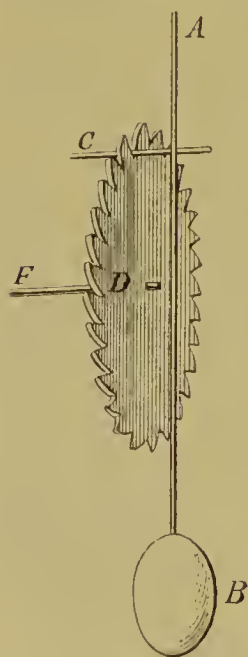


Fig. 116.

ist, dass sie in die Lücken des aus Karton ausgeschnittenen, mit dreieckigen

1) Galilei, Untersuchungen u. s. w. Nr. 11. S. 85.

Zähnen versehenen Rädchens *D* greift, das sich auf der Achse *F* drehen kann. Schwingt das Pendel nach hinten, so gleitet die Borste über die schief aufsteigende Seite des Zahnes hin, ohne das Rädchen mitzunehmen, schwingt es wieder nach vorn, so drückt es sie gegen die senkrecht abfallende Seite und schiebt so bei jeder Doppelschwingung das Rädchen um einen Zahn vor. So war es leicht, die in einer bestimmten Zeit ausgeführten Pendelschwingungen zu zählen¹⁾.

Dieser noch recht unvollkommene Apparat genügte für Galileis astronomische Beobachtungen, für welche nach Wilhelms IV. von Hessen Vorgang, wie wir sahen, die Zeit ein wichtiges Element geworden war. Als aber Galilei die Aufgabe, mit Hilfe des Pendels Längenbestimmungen auf der See vorzunehmen, ernster ins Auge fasste, musste er darauf denken, die Schwingungen des Pendels längere Zeit hindurch im Gange zu erhalten. Dazu musste eine besondere Kraft in Anwendung genommen werden, und als solche bot sich ihm diejenige, welche ein langsam herabsinkendes Gewicht ausnützen im Stande ist. Dies führte ihn zu der Erfindung der Pendeluhr.

Die Idee derselben erfasste er kurz vor seinem Tode, als er schon erblindet war. Seinem Sohne Vincenzo (1606—1649) und seinem Schüler Viviani, den einzigen, die damals um ihn sein durften, diktierte er die sie darstellende Zeichnung²⁾, die noch im Museo di Galilei in Florenz aufbewahrt wird³⁾. Zehn Jahre nach des Vaters Tode unternahm Vincenzo unter strenger Wahrung des Geheimnisses die Ausführung und überzeugte sich mit Viviani von der Richtigkeit des der Uhr zu Grunde liegenden Gedankens. Sein plötzlich erfolgter Tod hinderte freilich, dass die Uhr vollendet wurde, sie wurde mit seinem Nachlasse von seiner Witwe versteigert⁴⁾.

Fig. 117, S. 122, stellt eine Kopie jener Zeichnung in verkleinertem Maßstabe dar. Sie zeigt, dass das Pendel seitlich von dem das Räderwerk tragenden Gestelle angebracht ist und dass seine Achse zwei ein wenig gekrümmte Dornen trägt, welche ihre konkave Seite dem Gestelle zukehren und in abgerundeten Spitzen endigen. Schwingt das Pendel, wie in der Figur nach links, so hebt der eine dieser Dornen einen Sperrhaken in die Höhe und giebt so das Steigrad frei, dessen Bewegung dieser sonst hemmt. Sowie dies aber geschehen ist, greift der andere Dorn unter einen der Stifte, welche seitlich am Kranze des Steigrades angebracht sind, und verhindert nun das Rad weiter zu gehen. Während dieser Bewegung des Pendels ist somit das Rad um einen Zahn weiter gerückt. Schwingt

1) Galilei, Opere. Bd. VII. S. 170.

2) Viviani, Dell' orivolo a Pendolo, s. Galilei, Opere. T. XIV. S. 339. Suppl. S. 338.

3) Galilei, Le Opere. Supplemento. Tab. II.

4) Nelli, a. a. O. Vgl. Galilei, Le Opere. Suppl. S. 340 Anm. Hinsichtlich des Zählwerks und der Pendeluhr vgl. Gerland, Wiedemanns Annalen. Bd. IV. 1878. S. 593 ff.

dann das Pendel nach rechts, so lässt der letztere Dorn das Steigrad wieder frei, es rückt um einen Zahn weiter, vor den folgenden legt aber der erstere den Sperrhaken. Bei jeder Schwingung rückt also das Rad um einen Zahn vor und es hat keine Schwierigkeit, seine Bewegung auf die Zeiger der Uhr zu übertragen. Van Swindens¹⁾ Ansicht, dass das in der Zeichnung sichtbare Räderwerk dieser Übertragung dienen sollte, ist

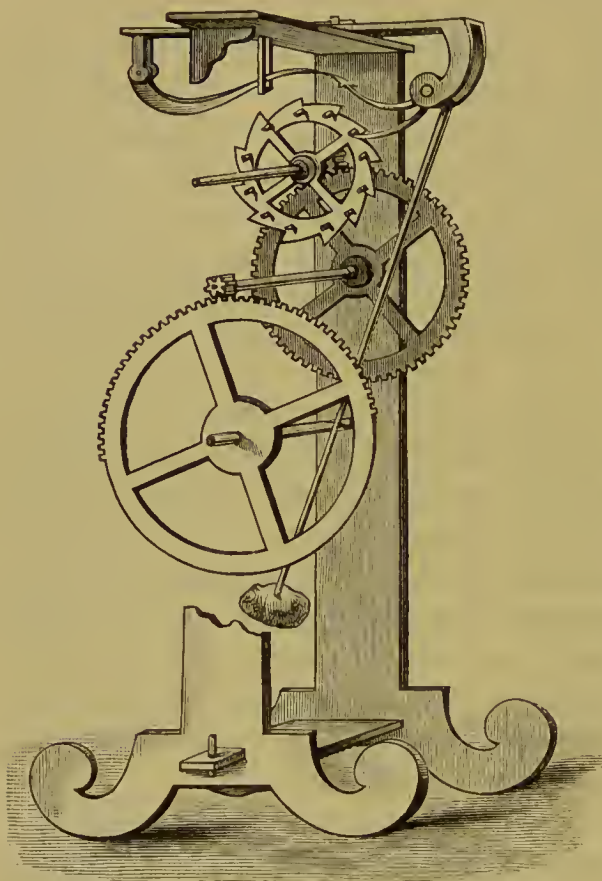


Fig. 117.

sicher unrichtig. Auf der Achse des unteren Rades muss man sich vielmehr eine Trommel mit darum gewundenem, ein Gewicht tragendem Seil denken; das Gewicht hält dann das Pendel im Gange. Jedesmal nämlich, wenn ein Stift oder Zahn vom Dorne abrutscht, erteilt diesem jener einen kleinen Stoß und ersetzt ihm dadurch den durch Reibung und Luftwiderstand erlittenen Verlust an lebendiger Kraft. In dieser Hinsicht ist die Zeichnung offenbar fehlerhaft, es hat aber nicht die geringste Schwierigkeit, das Pendel außerhalb des Gestelles anzubringen.

Galilei hat die Zeichnung, wie erwähnt, nicht mehr sehen und auf ihre Richtigkeit prüfen können, ihm ist aus diesem Fehler also kein Vorwurf zu machen. Dafür, dass sie so gedeutet werden muss, wie wir es

gethan haben, und nicht wie van Swinden wollte, sprechen die folgenden gewichtigen Gründe. Sollte das Räderwerk ein Zählwerk sein, so müsste die Bestimmung des unteren Dornes die sein, einen Stift des Steigrades nach dem anderen zurückzuschieben. Dann aber war die zugespitzte Form dieses Dornes die denkbar ungünstigste, das Zählwerk musste ganz unsicher arbeiten. Da aber Galilei das in Fig. 116 vorgeführte, viel einfachere und zuverlässigere Zählwerk entworfen hatte, so ist es widersinnig, ihm nun eine solche Verschlechterung jenes früheren Apparates zuzutragen. Sodann hat, wie erwähnt, Vincenzo die Uhr wirklich und mit gutem Erfolge gebaut, und ein neuerdings danach konstruiertes, ebenfalls gangbares Werk

1) van Swinden, Verhandelingen over Huygens als uitvinder der slingeruurwerken. Verh. van het Kon. Nederl. Instit. van Wetenschappen. 3. Amsterdam 1871.

befindet sich noch in Florenz¹⁾; endlich aber sagt der einzige überlebende Zeuge von Galileis Absichten, Viviani²⁾, über diese, »dass, wenn man ein Pendel dem Uhrwerke mit Gegengewicht und Feder würde zufügen können, welches man anstatt der gewöhnlichen Feder nähme, es zu hoffen sei, dass die sehr gleichartige und natürliche Bewegung dieses Pendels dazu dienen könne, alle aus seiner Herstellung entspringenden Fehler eines solchen Uhrwerkes zu korrigieren«. Galilei ist also der Erfinder der Pendeluhr.

Die Fortschritte, die Mechanik und Physik Galileis Forschungen verdankte, waren von so großer Wichtigkeit, dabei aber noch so wenig auf ihre Richtigkeit geprüft, dass seine Schüler sich die Aufgabe stellen zu müssen glaubten, diese Prüfung durch Versuche vorzunehmen. Ehe wir uns zu deren Schilderung wenden, betrachten wir die Arbeiten von Galileis Zeitgenossen, von denen einige eine abwehrende Haltung ihm gegenüber einnehmen zu müssen glaubten.

Keppler und Cartesius.

Keppler (1571—1630) war unter den Zeitgenossen Galileis wohl der ihm an Geist am meisten ebenbürtige. Aber seine Thätigkeit war hauptsächlich der Beobachtung der Planeten und der Ergründung von den Gesetzen ihrer Bewegung gewidmet, und so haben wir über Apparate, die er anwendete, Experimente, die er anstellte, nicht zu berichten. Gleichwohl sind seine dioptrischen Untersuchungen auch für das Gebiet, mit dem wir uns beschäftigen, von der größten Bedeutung geworden, denn sie führten ihn auf die Zusammenstellung mehrerer verschieden geformter Linsen, von denen eine, als astronomisches Fernrohr, den Hauptbestandteil so vieler physikalischer Messapparate ausmacht. Ebensovienig jedoch, wie er das Brechungsgesetz in der uns geläufigen Form gefunden hat, hat er ein astronomisches Fernrohr gebaut, dasjenige, was er in jugendlichen Jahren für sich anfertigte, war vielmehr ein Galileisches³⁾. Das erste astronomische Fernrohr stellte der Jesuitenpater Scheiner⁴⁾ (1575—1650) her, der es auch bereits benutzte, um ein vergrößertes objektives Bild der Sonne behufs der Beobachtung ihrer Flecken in der Dunkelkammer zu entwerfen.

Das Brechungsgesetz hat zuerst Cartesius (1596—1650) gefunden und bereits den konstanten Brechungskoeffizienten als das Verhältnis der Sinus des Einfallswinkels und Brechungswinkels dargestellt. Bisher hat man als dessen alleinigen Entdecker Snellius van Royen (1591—1626) angesehen, der freilich starb, ehe er es hatte veröffentlichen können. Das Manuskript, in dem er es niedergelegt hatte, ist nie zum Drucke gekommen. Doch glaubte

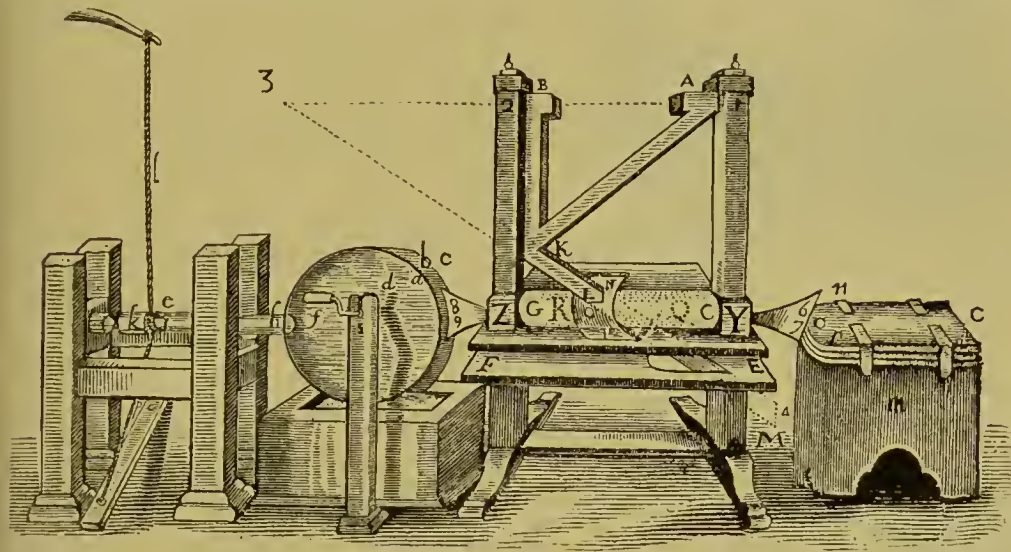
1) Gerland, Wiedemanns Annalen. Bd. IV. 1878. S. 612.

2) Viviani, Opere di Galilei. T. XIV. S. 352.

3) Alberi, Opere di Galilei. T. VIII. S. 92.

4) Scheiner, Rosa ursina. Bracciani 1620—1630.

Um der Linse die hyperbolische Form zu geben, wendet Cartesius die Maschine, welche Fig. 119 zeigt, an. Zwischen den zwei prismatischen



1) Den Beweis für das Verfahren, den Cartesius nicht giebt, bringt in einem Anhang der *Specimina philosophiae*, S. 245, Schooten, wie er ihn von van Gutschoven und Huygens erhalten hatte.

1) Den Beweis für das Verfahren, den Cartesius nicht giebt, bringt in einem Anhang der *Specimina philosophiae*, S. 245, Schooten, wie er ihn von van Gutschoven und Huygens erhalten hatte.

tung der aus hartem Material bestehenden Walze d (Fig. 119) dienen, die durch die Kurbel f gedreht werden kann. So erhält ihre Oberfläche eine hyperboloidische Form. Doch kann ihr auch von J aus durch 89 direkt ihre Form gegeben werden. Presst man dann gegen sie den Cylinder kjh , auf den bei h das abzuschleifende Glasstück aufgesetzt ist, dreht d und mittels des Strickes li und des Fußtrittes den Cylinder kjh , so erhält die Glasfläche unter Anwendung eines Schleifmittels, wie Sand, Smirgel oder Zinnasche die gewünschte hyperboloidische Form.

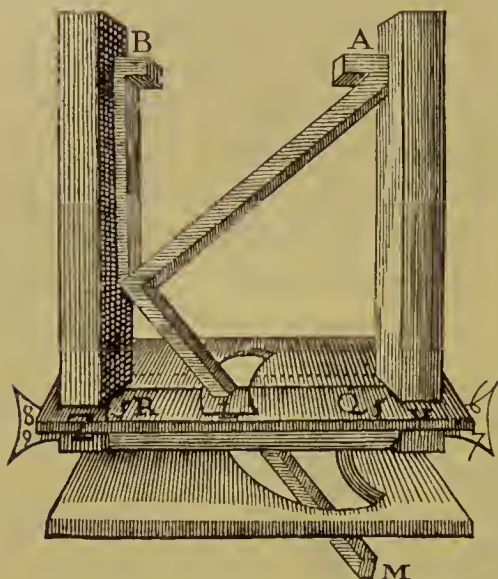


Fig. 120.

Bei der Beobachtung des Brechungsvermögens der für die Linsen zu verwendenden Glasstücke mussten farbige Ränder auftreten. Diese hat

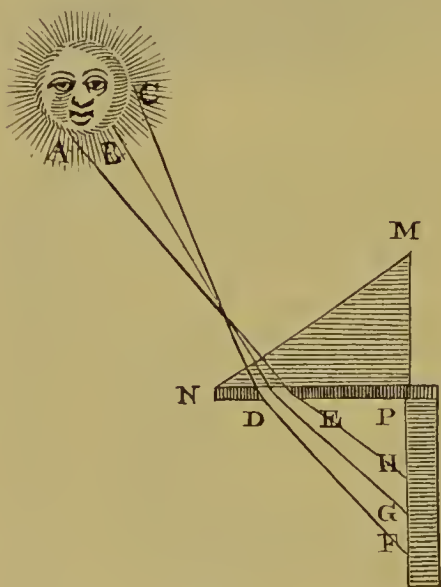


Fig. 121.

Cartesius dadurch berücksichtigt, dass er zur Bestimmung des Brechungskoeffizienten die Mitte des elliptischen Bildchens J (Fig. 118) als Bild der Sonne nahm. Dass er in der That die prismatischen Farben beobachtet hat, geht aus dem in Fig. 121 dargestellten Versuche hervor, den er zur Erklärung der Farben des Regenbogens benutzte²⁾. Er ließ unter einem nahezu rechten Winkel die Sonnenstrahlen A, B, C auf die eine Seite eines Prismas, MNP , fallen, dessen brechender Winkel 30 bis 40° betrug, bedeckte die andere mit einem undurchlässigen Schirme NP und beobachtete auf einem zweiten weißen, senkrecht zu NP aufgestellten Schirme die durch die kleine in NP befindliche Öffnung DE fallenden Lichtstrahlen. Sie wurden beim Anstritte aus dem Prisma gebrochen, und auf dem weißen Schirme erschienen die Regenbogenfarben, bei F immer Rot, bei H

1) Vgl. Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879. S. 316.

2) Cartesius, Specimina philosophiae. S. 215 ff.

Blau oder Violett. Er suchte sich Rechenschaft zu geben, auf welche Weise diese Farben entstehen könnten. Waren die Flächen MN und NP parallel, so traten die Farben nicht auf. »Ich war nicht im Zweifel«, sagt er¹⁾, »dass das Licht nötig sei, um diese Farben zu erzeugen, denn ohne es nehmen wir nichts wahr. Außerdem aber bemerkte ich, dass der Schatten oder die Begrenzung des Lichtes nötig sei. Denn wenn der Schirm NP weggenommen wurde, erlösen die Farben FGH sogleich, und sobald die Öffnung DE weit genug gemacht wurde, breitete sich das Rot, Orange und Gelb in F nicht weiter aus, und ebensowenig das Grün, Blau und Violett in H , sondern der ganze mittlere Raum bei G blieb weiß.«

»Als ich dies gefunden hatte, suchte ich den Grund, weshalb diese Farben andere in H wie in F sind, da doch Brechung, Schatten und Licht an beiden Punkten sich gleich verhalten, und indem ich die Natur des Lichtes beachtete, wie ich sie in der Dioptrik beschrieben habe, nämlich als die Bethätigung oder Bewegung eines feinen Stoffes, dessen Teile als kleine, die Poren der irdischen Körper durchdringende Kügelchen zu betrachten sind, erkannte ich, dass diese Kügelchen durch die Verschiedenheit der Ursachen, welche ihre Bewegung bedingen, in verschiedener Weise bewegt werden, und dass insbesondere alle Brechungen, welche nach derselben Seite vor sich gehen, sie dazu bringen, nach derselben Seite zu rotieren: dass aber, da sie keine benachbarten haben, welche viel schneller oder langsamer sich bewegen, die zirkuläre Bewegung sehr nahe einer geradlinigen gleich sei. Nun aber haben sie auf einer Seite benachbarte Teilehen, welche langsamer sich fortbewegen als sie, und auf der anderen solche, welche sich rascher oder wenigstens gleich rasch fortbewegen, wie es an der Grenze zwischen Licht und Schatten der Fall ist; wenn sie denen, welche sich langsamer bewegen, von der Seite begegnen, nach welcher sie rotieren, wie es bei den den Strahl EH zusammensetzenden der Fall ist, so bewirken sie, dass dessen rotierende Bewegung langsamer wie die geradlinige wird, und das Gegenteil tritt ein, wenn sie den nämlichen mit der entgegengesetzten begegnen, wie es mit denen der Fall ist, welche den Radius DF zusammensetzen«.

Nachdem sich Cartesius nun abgemüht hat, durch genauere Betrachtung der Teilchen und ihrer Nachbarn seine Anschauung klarer zu machen, fährt er fort²⁾: »Und nach meiner Meinung ist es nach alle diesem klar, dass die Natur der Farben, welche in F auftreten, nur darin besteht, dass die Teilchen der feinen Materie, welche die Lichtwirkung übertragen, mit größerer Heftigkeit und Gewalt zu rotieren, als sieh geradlinig zu bewegen gezwungen werden, so dass die, welche sehr kräftig rotieren, die rote Farbe hervorrufen, die etwas weniger kräftig, die gelbe. Dass dagegen die Natur derjenigen, welche in H erscheinen, nur darin besteht, dass diese Teilehen nicht so rasch rotieren, da eine solche Bewegungsursache für sie

1) Cartesius, a. a. O. S. 216.

2) Cartesius, a. a. O. S. 218.

nicht besteht, so dass Grün erscheint, wo sie nicht viel langsamer als gewöhnlich sich bewegen, und Blau, wo dies der Fall ist; und oft mischt sich den äußersten Stellen dieses Blau eine gewisse rötliche Farbe bei, welche, ihren Glanz ihm mittheilend, es in Violett oder Purpur verwandelt.

Wenn diese Theorie nun auch die Thatsache der Brechung erklären ließ, so war dies mit dem Auftreten der Farben nicht der Fall, da nicht abzusehen ist, wie an der brechenden Fläche die Rotationsgeschwindigkeit der Kugeln sich in verschiedener Weise ändern soll. Man muss solche von verschiedener Geschwindigkeit als von vornherein gegeben ansehen, und so folgt unmittelbar aus der Ansicht des Cartesius, dass das weiße Licht aus Licht von allen Farben besteht, die Farbe aber nur durch die Rotationsgeschwindigkeit der Theilchen bestimmt wird. Doch hat Cartesius diese Folgerung noch nicht gezogen.

Wir sind auf die Farbenlehre des großen Philosophen etwas ausführlicher eingegangen, da sie, meist unberücksichtigt geblieben, doch aber geeignet ist, Newtons Leistungen auf dem nämlichen Gebiete auf das richtige Maß zurückzuführen. Den Versuch, den Gang der Lichtstrahlen im Wassertropfen mit Hilfe einer kugeligen Flasche experimentell zu zeigen, konnte Cartesius bereits von seinen Vorgängern entlehnen.

Auch über den Magnetismus hat Cartesius mancherlei Versuche gemacht, und scheint der erste gewesen zu sein, welcher die magnetischen Kraftlinien mittels Eisenfeilspänen darstellte. Er senkte einen oder zwei

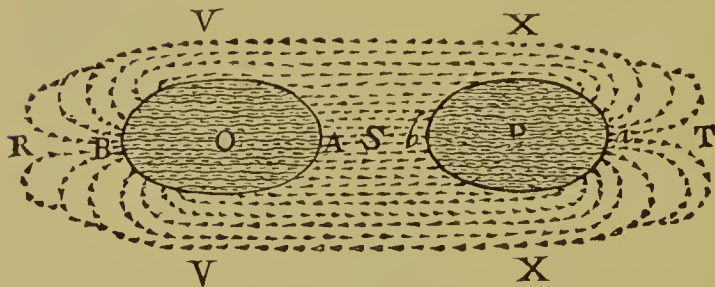


Fig. 122.

sphärische Magnete O und P (Fig. 122) bis zur Mitte in eine Ebene und streute auf diese die Späne. Die Figur stellt die entstehenden Linien ziemlich richtig dar, wenn A und a die Südpole, B und b die Nordpole oder umgekehrt

sind. Weiter verfolgt hat Cartesius die Erscheinungen nicht, wohl aber eine Bestätigung seiner Wirbeltheorie in ihrem Auftreten erblickt¹⁾.

Der Vollständigkeit wegen muss hier auch noch der Cartesianische Taucher angeführt werden, der weit über ein gewöhnliches Spielzeug hinaus geht, da durch seine Bewegungen mehrere Gesetze aus der Lehre von den Flüssigkeiten demonstriert werden können.

1) Cartesius, a. a. S. 207.

Guericke und Boyle.

1. Die Luftpumpe und die mit ihr anzustellenden Versuche.

Während Galilei und Cartesius bei ihren Arbeiten von theoretischen Gesichtspunkten ausgingen und den Versuch nur zur Prüfung von deren Richtigkeit heranzogen, schlugen Otto von Guericke (1602—1686) und Robert Boyle (1626—1691) den umgekehrten Weg ein, aus den Ergebnissen ihrer Versuche suchten sie zur Kenntnis allgemeiner Gesetze zu gelangen. Von Guericke gilt dies freilich nicht ohne Einschränkung. Er hatte sich eine bestimmte Vorstellung von den Welt- oder Naturkräften gemacht, die ihn hinderte immer vorurteilsfrei zu verfahren. Bei seinen Versuchen mit der Luftpumpe ließ er sich freilich durch solche vorgefassten Meinungen nicht beirren, sondern stellte unbekümmert darum eine Reihe von äußerst fruchtbaren Versuchen an, welche ihn zu einer Fülle der schönsten Entdeckungen führten. Indem er aber den freien Blick bei seinen elektrischen Versuchen sich nicht bewahrte, gelang es ihm nicht, die Schlüsse, welche nahe genug lagen, daraus zu ziehen. Und doch waren sie so einleuchtend, dass andere nach ihm ohne Mühe darauf kamen.

Die Beschreibungen und Abbildungen, die Guericke von seinen Apparaten und Versuchen giebt, sind so eingehend und ausführlich, dass sie uns, mehr wie alle anderen, einen Blick in den Stand der Experimentierkunst seiner Zeit zu geben geeignet sind. Der Plan, den er bei seinen Versuchen mit der Luftpumpe verfolgte, war auch eigenartig genug. Betrachtet man oberflächlich den Titel seiner sie schildernden Schrift¹⁾, so sollte man glauben, dass sie nur diese Versuche enthielte; sie werden durch den Druck so hervorgehoben, dass sie allein in die Augen fallen. Sieht man näher zu, so findet man in viel kleinerem Druck bemerkt, dass sie auch vom Gewicht der die Erde umgebenden Luft, den Weltkräften und dem Welt-system handeln. Diese Untersuchungen führten aber erst Guericke zu seinen neuen Magdeburger Experimenten. Um über die Bewegung der Gestirne zur Klarheit zu gelangen, war es ja nötig die Beschaffenheit des Raumes, in dem sie sich bewegen, zu untersuchen. Er unterscheidet sich von dem uns zugänglichen dadurch, dass er weder Luft noch sonst einen Stoff enthält. Will man also seine Eigenschaften auf der Erde untersuchen, so hat man nur aus einem mit einem Stoffe gefüllten Gefäße, z. B. einem Fasse voll Wasser, diesen Stoff heranzunehmen, das Wasser aus dem Fasse herauszupumpen.

Behält man im Auge, dass Guericke seine Versuche bereits um die Mitte des 17. Jahrhunderts anführte, so muss man anerkennen, dass er in ihnen ein Muster aufstellte, welches zu seiner Zeit einzig in seiner Art dastand. Mit den einfachsten Apparaten beginnend, verbesserte er sie mehr

¹ Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio. Amstelodami 1672. Die Versuche mit der Luftpumpe übersetzt von Dannemann in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Nr. 59. Leipzig 1894.

und mehr und seine Untersuchungen lassen an Vollständigkeit nichts zu wünschen übrig. Wenn es ihm trotzdem nicht gelang, einen einigermaßen vollständig luftleeren Raum herzustellen, so findet dies eine ausreichende Erklärung in dem Zustande der Technik seiner Zeit. Die Kriegsnöte, die seine Vaterstadt Magdeburg besonders hart trafen, waren nicht geeignet, dass sich die mechanische Kunst entwickeln konnte.

Die Geräte, mit denen Guericke seine Arbeiten begann, waren die denkbar einfachsten. Fig. 123 giebt einen Begriff davon. Ein gewöhnliches Fass wurde auf einem Dreifuß aufgestellt und an dasselbe mittels des mit vier Flantsehen für Befestigungsschrauben versehenen Ringes *e*, der besonders dargestellt ist, »eine Messingen Feuersprutz«, also ein Pumpeylinder



Fig. 123.

befestigt. Ein Kegelventil oder Stift *b*, dessen Sitz *a* ist, verhinderte, dass das ausgepumpte Wasser wieder zurücktreten konnte, wenn es hinter den genau schließenden Kolben *g*, dessen Stange *f* oder *e* ist, in den Stiefel getreten war. Vor dem Hinunterstoßen des Kolbens wurde der Stift *b* herausgenommen und so dem Wasser der Austritt ermöglicht.

Der erste mit diesem so eingerichteten Fass angestellte Versuch misslang, da die Schrauben, die den Pumpeylinder befestigten, nicht hielten. Nachdem sie durch stärkere ersetzt waren, gelang es zwar den Pumpenden, das Wasser aus dem Fass zu werfen, aber man hörte sogleich das Pfeifen der durch die Poren der Fassdauben eintretenden Luft. Nicht viel besser stellte sich das Ergebnis, als unser Forscher ein kleineres Fass in ein größeres setzte und das in ersteres gegossene Wasser auspumpte. Das dem Zwitschern eines Vogels ähnliche Geräusch stellte sich wieder ein, hielt freilich mehrere Tage an. Als es aufhörte, enthielt das innere Fass doch

wieder Luft und Wasser. Das überzeugte Guericke, dass es unmöglich sei, in einem hölzernen Gefäß einen leeren Raum herzustellen. Er ersetzte die Fässer demnach durch eine oben mit einem Hahn versehene kupferne Kugel, und brachte in der aus Fig. 124 ersichtlichen Weise an sie den Pumpeylinder an. Anfangs ging alles nach Wunsch. Plötzlich aber wurde die Kugel mit einem lauten Knall zusammengepresst, ein Ereignis, welches Guericke später der Wirkung des Luftdruckes zuschrieb. Da der Handwerker bei Herstellung des kupfernen Gefäßes nicht genug darauf geachtet hätte, ihm eine genaue Kugelform zu geben, so sei diese Wirkung unvermeidlich gewesen. Dabei ist auffallend, dass Guericke nur vermutungsweise ausspricht, dass an der Kugel flache Stellen gewesen seien, aber uns nicht

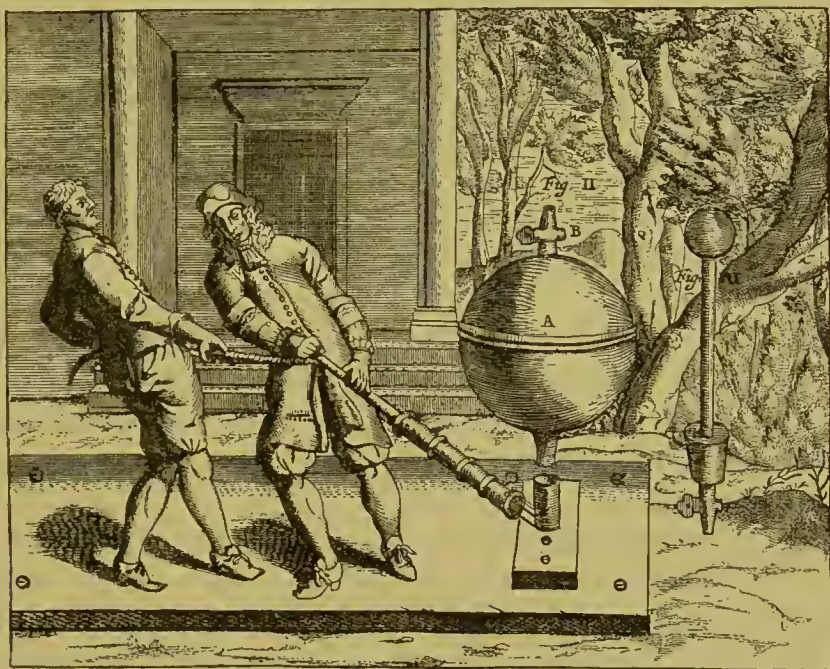


Fig. 124.

versichert, dass er solche auch gesehen habe. Die Beschreibung seiner Versuche ließ er zwanzig Jahre nach deren Ausführung drucken, in der Zwischenzeit hatte er Torricellis Versuch kennen gelernt. Es erscheint somit nicht sicher, ob er gleich von vornherein die richtige Vorstellung vom Luftdruck hatte, war das aber nicht der Fall, so musste ihn das Misslingen dieses Versuches darauf führen. Er teilt dann mit, dass er nunmehr eine andere Luftpumpe gebaut habe, ohne jedoch anzugeben, wann dies geschah.

Die neue Luftpumpe führte er 1654 den auf dem Reichstage in Regensburg versammelten Fürsten vor und erregte mit den Versuchen, die er damit anstellte, ungeteilte Bewunderung. Über das Jahr ihrer Herstellung lässt sich also nur angeben, dass es ein früheres, als 1654 gewesen sein muss, denn eine Nachricht aus dem Jahre 1799, Guericke habe bereits

1641 eine Luftpumpe der Stadt Köln zum Geschenk gemacht¹⁾, ist zu wenig beglaubigt, als dass sie in Betracht kommen könnte. Die Luftpumpe selbst überließ er dem Bischof von Würzburg, der auch Erzbischof von Mainz war und dieser ließ die Experimente durch den Würzburger Professor, den Jesuiten Caspar Schott (1608—1666), wiederholen. Mit Einwilligung Guerickes beschrieb dann Schott in seiner 1657 in Würzburg erschienenen *Mechanica Hydraulica-Pneumatica* den neuen Apparat und seine Verwendung, während Guericke sein Werk über die Luftpumpe erst 1663 vollendete und 1686 in den Druck gab. Es ist dies das oben-erwähnte; in ihm bildet er eine verbesserte Luftpumpe ab, mit der er die meisten der darin gleichfalls vorgeführten Versuche ausstellte. Ein wie großes Ansehen nun auch viele davon erregten, den meisten Ruhm brachte ihm doch das Experiment mit den »Magdeburger Halbkugeln« ein, welches er bereits in Regensburg machte. Er legte zwei mit den Rändern aufeinander gepasste Halbkugeln aus Bronze, *A* und *B*, Fig. 125, von beiläufig 55 cm Durchmesser, von denen die eine mit einer durch einen Hahn verschließbaren Öffnung versehen war, aufeinander, pumpte die Luft aus und zeigte, dass die Kraft von 16 Pferden nicht ausreichte, sie dann auseinander zu ziehen, während dies keine Schwierigkeit machte, wenn er durch Öffnen des Hahnes die Luft wieder eingelassen hatte. Mit Hilfe des zwischen der geöffneten und der geschlossen dargestellten Kugel abgebildeten Kegelventils konnte er sie auf der Luftpumpe anbringen. Zum Dichten diente der Leder-ring *D*, welcher mit dem aus Wachs und Terpentinöl bestehenden Luftpumpenfette durchtränkt wurde.

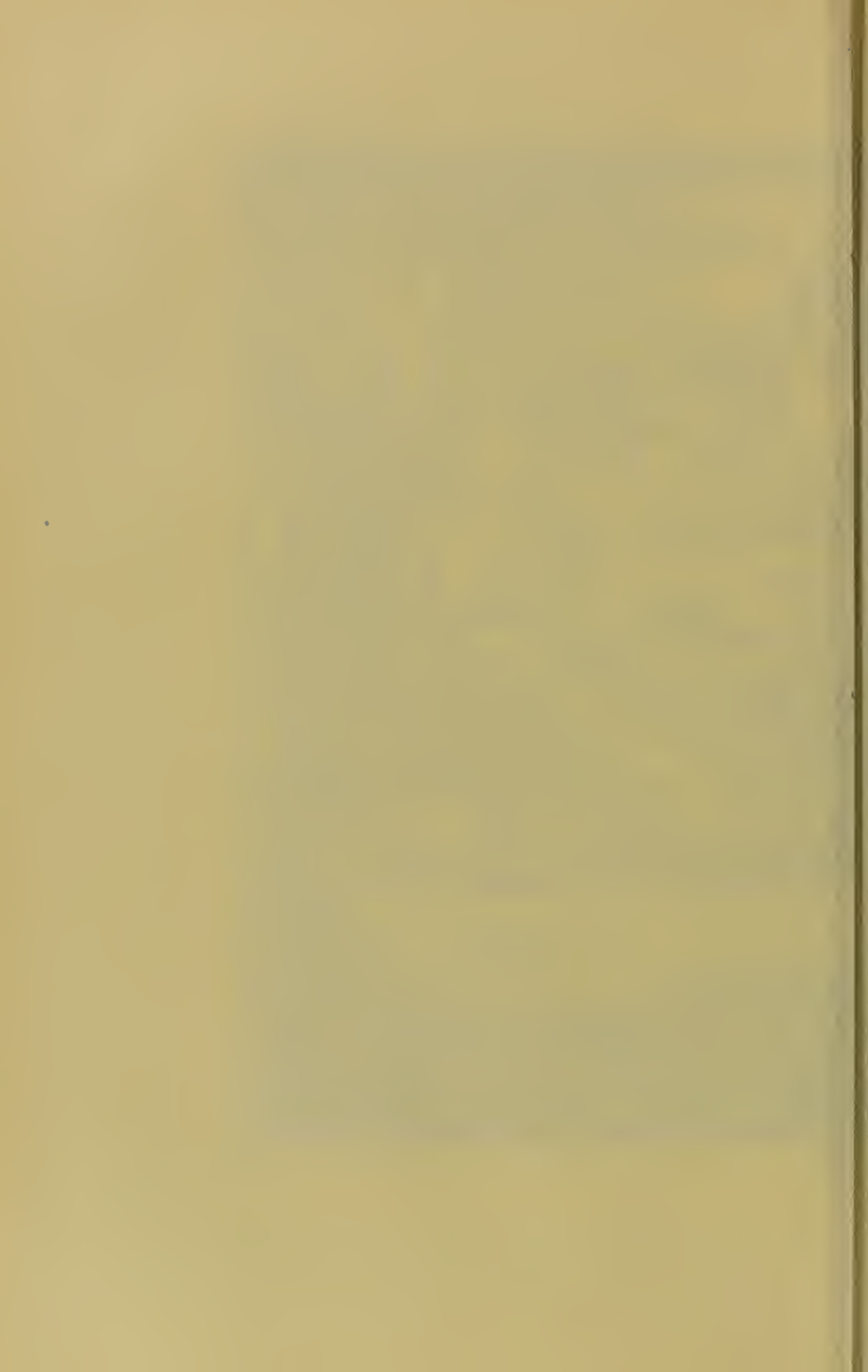
Schotts Mitteilungen regten Robert Boyle an, den auch von ihm längst gehegten Plan der Herstellung einer Luftpumpe zur Ausführung zu bringen, um so mehr, als ihm Guerickes Apparat verbesserungsbedürftig zu sein schien. »Namentlich«, sagt er in seiner Kritik desselben²⁾, »ist die Luftpumpe . . . so hergestellt, dass zum Entleeren des Gefäßes zwei kräftige Menschen nötig sind, welche einige Stunden am Joeche arbeiten müssen. Dann aber, und das ist ein Fehler von größerem Gewichte, besteht der Rezipient oder das auszuleerende Gefäß aus einer unversehrten Glaskugel, die mit dem Halse verbunden ist, und das hat zur Folge, dass er Gegenständen, mit denen Experimente angestellt werden sollen, den Eintritt verwehrt, weshalb man nur auf einige wenige, außer den vom Autor bereits beobachteten und von Schott erwähnten Phänomene hoffen darf. Um diesen Unvollkommenheiten einigermaßen zu begegnen, zog ich . . . R. Hooke . . . hinsichtlich einer neu anzuführenden Luftpumpe zu Rate, welche nicht lange in Wasser untergetaneht gehalten zu werden

1) Hindenburg, Archiv der reinen und angewandten Mathematik. Leipzig 1799. S. 232.

2) R. Boyle, *Nova Experimenta physico-mechanica de Vi Aëris elastica et ejusdem Effectibus, facta maximam partem in Nova Machina Pneumatica*. Ed. postrema. Roterodami 1669. (Die erste Ausgabe erschien 1660.) S. 4—6.







brauchte (was oft ohne Nachteil nicht möglich ist), und leichter behandelt und benützt werden konnte«.

Nach mehreren vergeblichen Versuchen brachte Boyle die in Fig. 126, S. 134, dargestellte Maschine zu stande, deren untere Teile wohl in dem Bestreben, Raum zu ersparen, im Verhältnis zu den oberen viel zu klein gezeichnet sind. Den ersteren Übelstand beseitigte die das Joch ersetzende Kurbel 7 mit dem Getriebe α und der Zahnstange 5, deren Anwendung auch eine zweckmäßigere Anordnung der einzelnen Teile ermöglichte. Der Stiefel 22 und 33 wurde in senkrechte Lage, die Öffnung nach unten angebracht, er ruhte auf einem genügend starken Dreifuß. Stiefel, Kolben, Zahnstange, Kurbel, Getriebe und Lager sind rechts unten voneinander getrennt gezeichnet. Der Stiefel bestand aus gegossenem Erz, hatte eine Länge von etwa 14 Zoll und einen leichten Durchmesser von fast 3 Zoll. Der Kolben bestand aus 2 Teilen, der eine hatte einen geringeren Durchmesser, wie die lichte Weite des Stiefels erforderte, der andere war eine Hülle von gegerbtem Schuhleder, welche mit vielen Schlägen in den Stiefel getrieben war. Die Zahnstange wurde in den inneren Teil des Kolbens eingeschränkt.

Der Rezipient A bestand aus einer Glaskugel, die aus einem ähnlichen Gefäße, wie sie bei den Chemikern im Gebrauche waren, dadurch hergestellt worden war, dass man den Hals bis auf einen kleinen Teil, B , mit einem glühenden Eisen abgesprengt hatte. Er fasste etwa zwei Pfund Wasser. In den stehen gebliebenen Hals war ein aus Erz gegossener Ring eingesetzt und sorgfältig verkittet. In ihm befand sich ein zweiter Ring, FG , der genau in die kegelförmige Öffnung des ersten passte und in der Mitte in einem ebenso geformten Ansatz die etwa $\frac{1}{2}$ Zoll weite Öffnung HJ aufwies. Dahinein war ein messingener Wirbel mit Handgriff, K , eingeschliffen, mit einer seitlichen Durchbohrung S an seinem unteren Ende, durch welches ein Faden zum Einhängen von Körpern in den Rezipienten gezogen werden konnte. Unten war der letztere durchbohrt; eine aufgekittete Eisenplatte verband ihn mit dem Sitze des Hahnes TV . Die von Boyle zuerst angewendete Art der Verkittung der Metalle mit dem Glase war seiner Beschreibung nach die folgende¹⁾: »Zuerst wurde die Höhlung der Zinnplatte mit geschmolzenem Kitt gefüllt, welcher aus gut zusammengearbeitetem und gemischtem Pech, Harz und Holzasche bestand. Damit das Eindringen der flüssigen Mischung in die Öffnung Z des Hahnes X verhindert würde, war dessen Bohrung mit einem Kork verschlossen. An den Kork aber war ein Faden befestigt, mit dessen Hilfe er aus der oberen Öffnung des Rezipienten gezogen werden konnte. Nachdem alsdann dies abgekühlt war, wurde der gläserne Hals des Rezipienten mit Kitt bis über den Hahn versehen, wodurch erreicht wurde, dass aller Raum zwischen der Zinnplatte und dem Rezipienten und zwischen der inneren Oberfläche

¹⁾ Boyle, a. a. O. S. 10.

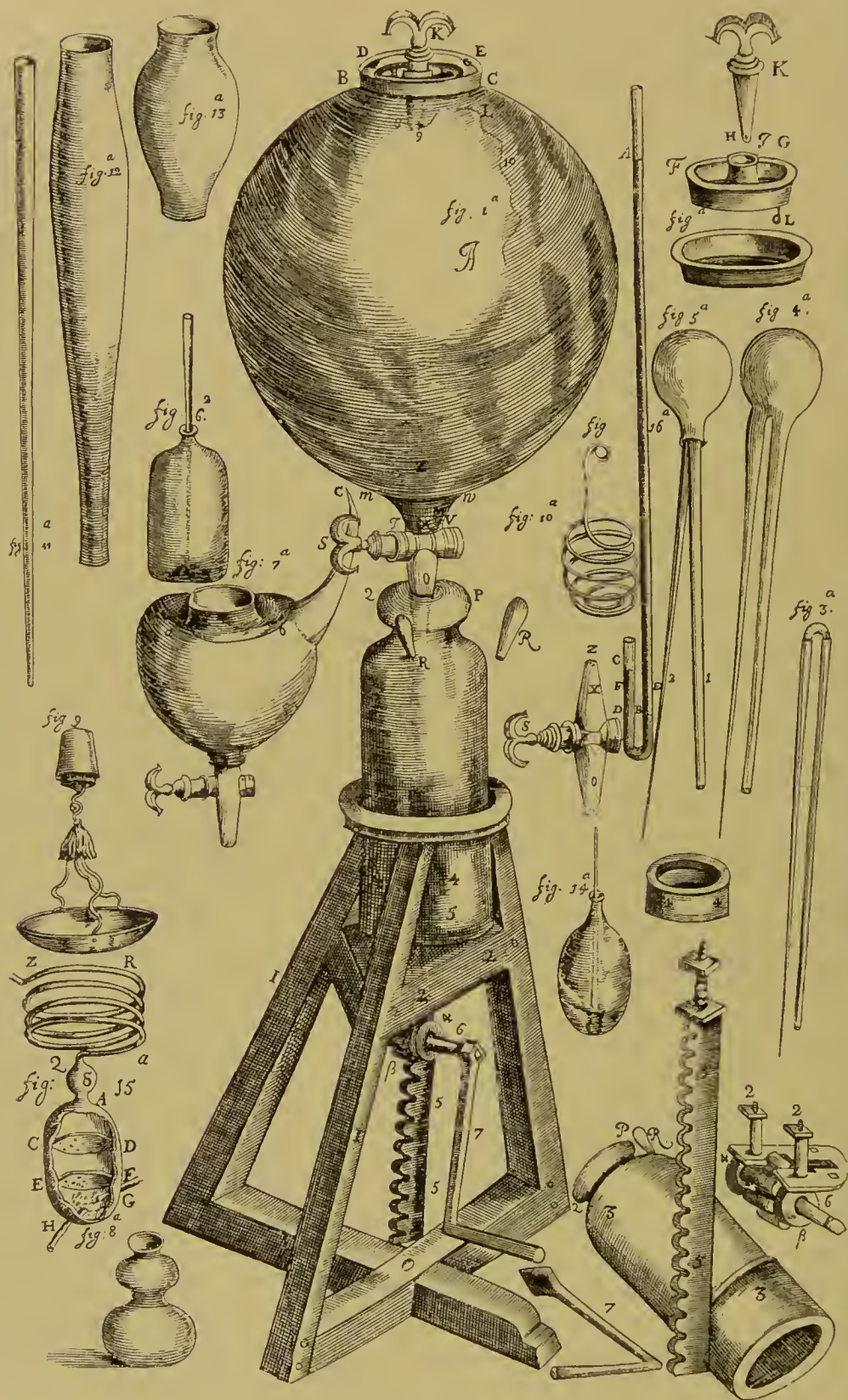


Fig. 126.

des Rezipienten und dem Hahnsitz mit Kitt angefüllt wurde«. Durch die obere Öffnung des Rezipienten wurde dann Öl eingegossen, welches den Halm und Kolben dichten und leichter beweglich machen sollte. Auch das Ventil wurde geölt. Doch bewegte sich der Kolben leichter im Cylinder, wenn Wasser und Öl, als wenn eine dieser Flüssigkeiten allein angewendet wurde. Mit dem erwähnten Kitt mussten die äußeren Ränder der Ringe bestrichen und mit einem heißen Eisen angeschmolzen werden. Auf die Dauer freilich befriedigte Boyle seine Pumpe nicht und er ging mit dem Plane an, eine horizontale nach dem Muster der Guericqueschen zu bauen, die ganz mit Wasser bedeckt werden sollte¹⁾.

Die Versuche, die Boyle — und nach ihm andere — mit der Luftpumpe anstellte, waren der mannigfaltigsten Art. Wie man in unseren Tagen die X-Strahlen auf alles wirken lässt, so brachte man damals alle möglichen Dinge in den Rezipienten. Verschiedene Tiere mussten darin ihr Leben lassen, brennende und glühende Körper, welche mittels der Vorrichtungen »Fig. 10a« und »Fig. 15« (Fig. 126) in den Rezipienten gesenkt wurden, verlöschten beim Auspumpen, die Wirkung des Magneten und die Bewegung des Pendels schienen unter dem Rezipienten nicht andere zu sein als in der Luft. Als Boyle die Destillationsvorlage »Fig. 7a«, deren seitliches Rohr bei C mit Wachs verschlossen worden war, auspumpte, sprang sie längs der Linie *oo* ab, die »Figg. 3, 4 und 5« bewiesen ihm, dass der Heber im luftverdünnten Raume nicht läuft. Mit Hilfe zweier Fläschchen von der in »Fig. 8« gezeichneten Form, wie sie damals zum Aufbewahren von Essenzen dienten, erhielt er die verhältnismäßige Ausdehnung der unter dem Rezipienten mit Wasser abgesperrten Luft. Die Versuche, welche er zu diesem Zwecke anstellte, sind deshalb von Bedeutung, weil man sie später zur Konstruktion von Thermoskopen benutzt hat, auch wohl noch benützt. Er füllte das eine der beiden Fläschchen so weit mit Quecksilber, dass es in einem Gefäße mit Wasser gerade untertauchte, und verklebte dann die Öffnung mit Wachs, das andere wurde dagegen, die Öffnung nach unten, so weit mit Wasser gefüllt, dass noch eine große Luftblase darüber blieb. Wurde nun die Luft über dem Wasser verdünnt, so stieg das letztgenannte Fläschchen in die Höhe, während das andere in seiner Lage beharrte.

Eine Reihe seiner anderen Versuche gehören auch heute noch zum eisernen Bestande unserer Vorlesungsversuche. Die Ausdehnung der im Rezipienten befindlichen Luft zeigte Boyle, indem er eine geschmeidig gemachte, zur Hälfte mit Luft gefüllte und gut zugebundene Lammblase unter den Rezipienten brachte, zu welchem Zwecke de Roberval (1602—1675) eine Fischblase benutzte. Das Gewicht der Luft suchte er, welchen Weg auch Guericke bereits eingeschlagen hatte, dadurch zu bestimmen, dass er eine Glaskugel zuerst in mit Luft gefülltem und dann ausgepumptem Zustande wog. Wurden die Glaskugeln, sobald sie aus dem

¹ Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 439.

Glasofen kamen, zugeschmolzen, so erwies sich ihr Gewicht noch geringer, als wenn sie mittels der Luftpumpe entleert waren. Solche Kugeln hielt deshalb Boyle für luftleer. Er machte auch den Versuch, den man vielfach Gay Lussac zuschreibt, dass er an dem Balken einer kleinen Wage die halb mit Luft gefüllte Lammblass, später ein luftdicht verschlossenes eiförmiges Glasgefäß durch ein Bleigewicht äquilibrirte und unter dem Rezipienten dieses steigen sah. Auch in freier Luft stellte er einen solchen Apparat auf und verglich seine Bewegung mit den Schwankungen des Barometers¹⁾.

Brachte er Wasser in den Rezipienten, so sah er beim Pumpen Blasen daraus aufsteigen und schloss daraus, dass es in Luft verwandelt werden könne. Dieser Versuch führte ihn freilich ebensowenig wie die Vergleichung eines in Form eines abgekürzten Gefäßbarometers hergestellten Quecksilbermanometers mit einem ebenso eingerichteten Wasserbarometer auf die Ansicht, dass das Wasser verdampfe, obwohl er uns beweist, dass er mit seiner Pumpe eine Verdünnung von 1 Zoll Quecksilberdruck erreichte. Auch die Ausdehnung der Luft maß er mittels eines U-förmig gebogenen Glasrohres, dessen eines Ende offen, das andere zu einer Kugel aufgeblasen war. Die in »Fig. 6« und »Fig. 14« dargestellten Apparate benutzte er jedoch auch als Thermometer²⁾. Das spezifische Gewicht des Quecksilbers bestimmte er mit Hilfe des in »Fig. 16« dargestellten Apparates. Er fand es zu $13\frac{9}{121}$, und daraus die Dichtigkeit der Luft zu $\frac{1}{938}$ von der des Wassers, während Mersenne (1588—1648) gefunden zu haben glaubte, dass dieser Wert $\frac{1}{1300}$ nicht überschreite.

Bei der Konstruktion seiner zweiten Luftpumpe³⁾, mit welcher, wie wir sahen, Guericke bereits 1663 zustande gekommen war, hat er Boyles Kritik wohl benutzt. Ihr Bild giebt Fig. 127. Wie die Boylesche ruht sie auf einem Dreifuß *abcdf*, der den senkrecht gestellten Stiefel *sg* trägt. Über diesem ist der Rezipient *L* aufgestellt, eine »viertel oder halbe Vorlage«, wie sie im Arzneihandel gebraucht wurde, an deren Halse »vermittelst einer klebenden Substanz, welche die Goldarbeiter Kitt nennen«, eine Messingkapsel angesetzt war. Sie hatte die Form einer Büchse und in sie konnte der Hahn *q*, »Fig. VII«, eingesetzt werden, dessen kegelförmiges unteres Ende dann wieder in die Öffnung *n* im Deckel des Stiefels gesteckt wurde. Sollten größere Gegenstände in den Rezipienten gebracht werden, so musste man den Hahn erst herausnehmen. Den Stiefel stellt »Fig. III« besonders dar. Oben ist er, der besseren Dichtung wegen, mit einem Bleiringe umgeben, auf den der Messingdeckel »Fig. IV« mit dem kegelförmigen Ansatz *mn* geschraubt wird. Im Deckel wird eine Öffnung durch das Lederventil *z* verschlossen, welches dem

1) Boyle, Philos. Transact. 1666. Nr. 14. S. 231.

2) R. Boyle, Defensio doctrinae de Elatere et gravitate Aëris adversus objectiones Francisci Lini. Ed. postrema. Roterodami 1669. S. 83.

3) Guericke, Experimenta nova etc. S. 75.

Ventile *dd* in Fig. 123 gleich gebildet ist und durch eine Metallfeder angedrückt wird. Diese Einrichtung erleichtert das anfängliche Pumpen sehr. Ist aber die Luft so weit verdünnt, dass sie das Ventil zu heben nicht mehr im stande ist, so muss, wenn sie aus dem Stiefel entweichen soll, der Stift *m* in der bisher gewohnten Weise herausgezogen werden. Mittels des eisernen Ringes *bc*, »Fig. II«, wird der Stiefel an den Dreifuß

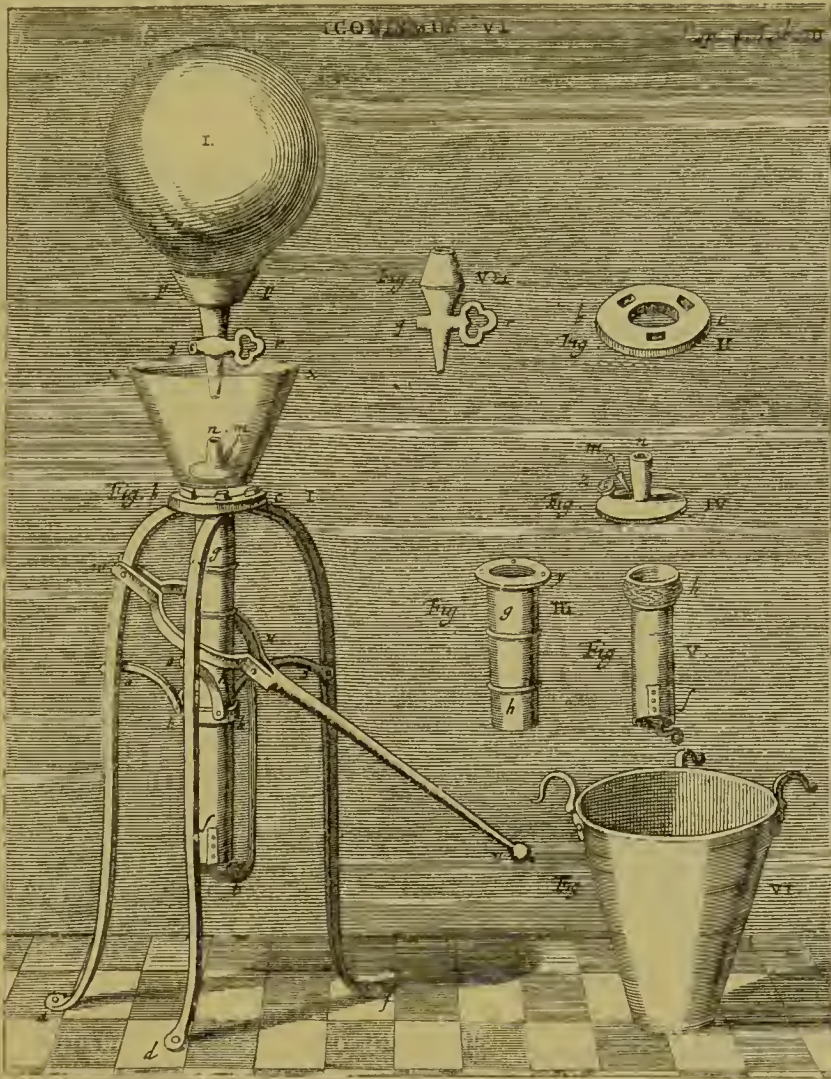


Fig. 127.

angeschraubt. Der Kolben »Fig. V« ist ein massiver Holzeylinder, dessen Dichtung durch ein unwundenes Seil hergestellt gewesen zu sein scheint. Auf den Bleiring *bc* konnte ein trichterförmiges Gefäß zur Aufnahme von Wasser gesetzt werden, welches die Dichtung des Rezipient und Stiefel verbindenden Hahnes vollkommen machen sollte. Um denselben Zweck beim Kolben zu erreichen, wurde der kupferne Eimer »Fig. VI« mit Hilfe dreier Haken an die Streben *ooo* des Dreifußes gehängt und mit Wasser

gefüllt. Um das aber zu ermöglichen, war die Kolbenstange nach oben gebogen und hier am Hebel *uu* mittels eines Gelenkes befestigt; ein zweites Gelenk verband sie mit dem unteren Ende des Kolbens.

Diese Luftpumpe trat der Boyleschen ebenbürtig an die Seite und scheint ihr sogar überlegen gewesen zu sein, da Boyle ja später mit dem Gedanken umging, bei seiner Luftpumpe die Wasserdichtung nachträglich anzubringen. Den Grad der Verdünnung in Höhen einer Quecksilbersäule auszudrücken, wie das bei den Boylesehen Versuchen möglich war, gestatten uns die von Guericke hinterlassenen Versuchsergebnisse nicht. Dass er aber auch eine starke Verdünnung erreichte, beweist der in Fig. 128

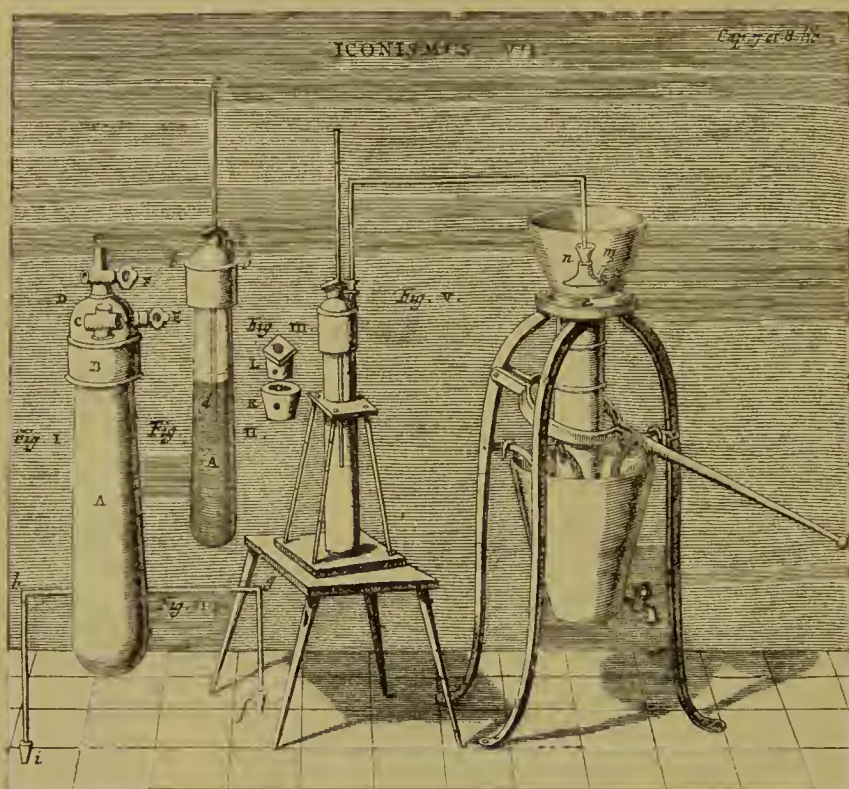


Fig. 128.

dargestellte Versuch, der zum erstenmale den Wasserhammer vorführte. Wenn Guericke das Gefäß mit Wasser gefüllt und über demselben die Luft ausgepumpt hatte, so beobachtete er, dass das Wasser mit hellem Klang gegen das Glas oder auch die auseinander gerissenen Wasserteilehen mit einem solchen gegeneinander schlugen. Dabei sah er freilich immer ein Bläschen an der Stelle des Zusammenschlagens, das er nicht, wie einige seiner Gegner, für Luft zu halten geneigt war, über dessen Natur er aber nicht klar wurde. Da man damals wohl noch allgemein den Wasserdampf für Luft hielt, so konnte ihm die richtige Erklärung noch nicht gelingen, ebensowenig wie die einer weiteren Beobachtung, welche ihm zeigte, dass Luftbläschen in Wasser, welches in den Rezipienten gebracht worden war,

nicht mehr auftraten, sobald er die Luft ausgepumpt hatte, dass sie aber jedesmal wieder erschienen, wenn man neues Wasser, welches mit der Luft in Berührung gewesen war, jenem zufügte.

So wusste er denn auch die Nebel, welche er in einem mit Luft gefüllten Glaskolben entstehen sah, als er ihn mit dem leer gepumpten Rezipienten der Luftpumpe durch einen Hahn in Verbindung setzte und die Luft des Glaskolbens durch Öffnen des Hahnes in dem Rezipienten sich ausdehnen ließ, nur dadurch zu erklären, dass diese plötzliche Ausdehnung der Luft die im Glaskolben zurückbleibende verändere und vermindere, dass dabei aber die Luft im Glaskolben ihre Feuchtigkeit abgebe, weil



Fig. 129.

eine größere Menge Luft mehr Feuchtigkeit enthalten könne. So wenig uns diese Erklärung befriedigt, so wusste, wie wir sehen werden, noch 10 Jahre nach Erscheinen der *Experimenta nova* Huygens gelegentlich einer Beobachtung desselben Vorganges im großen nichts Besseres zu seiner Erklärung anzugeben. Tauchte Guericke den Hahn vorher in Wasser, so war die Nebelbildung stärker. Nach einiger Zeit verloren sich die Nebel, welche in der Sonne die Farben des Regenbogens beobachten ließen.

Auch den Versuch mit den Halbkugeln verfolgte Guericke mit seiner neuen Luftpumpe weiter. Es glückte ihm freilich nicht, sie mit einem Centnergewichte, welches an einen mit den Kugeln verbundenen Strick

befestigt und dann fallen gelassen wurde, die Kugeln zu trennen. Dagegen gelang es, zwei kleinere Halbkugeln, *A* und *B* Fig. 129 S. 139, mittels einer an die untere gehängte Wagschale auseinander zu reißen, nachdem die Wagschale genügend mit Gewichten belastet war. Den Gewichtsverlust einer Kugel, aus der er einen Teil der in ihr enthaltenen Luft in ein luftleer gemachtes Gefäß hatte strömen lassen (Fig. 130), bestimmte er durch Wägung der Kugel vor und nach dem Versuche. Ließ er die möglichst luftleer gemachte Kugel an der Wage hängen und brachte sie durch Gewichte am anderen Wagebalken ins Gleichgewicht, so konnte er auch die Schwankungen des Luftdruckes beobachten. Der unter dem viereckigen,

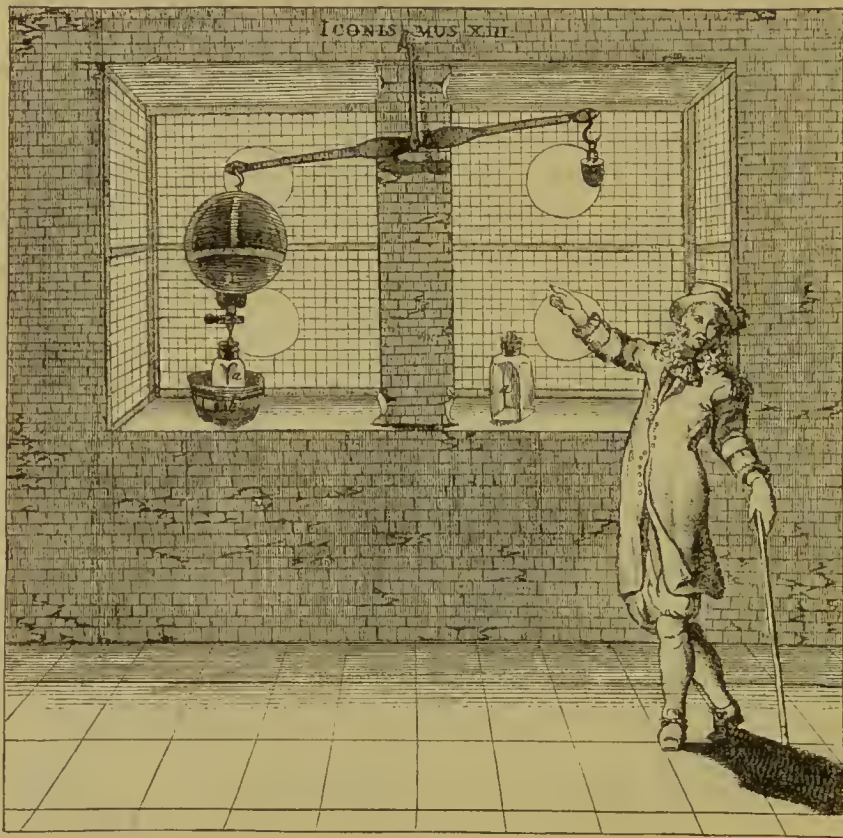


Fig. 130.

luftleer gemachten Glasgefäße *a* angebrachte Topf, Fig. 130, sollte verhindern, dass das Glasgefäß, wenn es beim Öffnen des Hahnes springen sollte, jemand verletzte. Eine derartige unliebsame Erfahrung hatte auf diese Vorsichtsmaßregel hingeleitet. Aus dem Umstande, dass Guericke sich vielfach begnügte, durch einen solchen tragbaren Rezipienten die erstrebte Luftverdünnung zu erreichen, erhellt, dass er nicht allzu hohe Anforderungen in dieser Hinsicht stellte.

Der Versuch zur Bestimmung des Gewichtes der Luft, den er schon in Regensburg ausführte, war für die damalige Zeit freilich nicht recht überzeugend. So konnte der Hofmarschall des Kaisers, Fürst Auersperg,

nicht bewogen werden, des Experimentators Behauptung Glauben zu schenken, dass ein Mensch, der seinen Atem in die Flasche *a* bliese, gleichzeitig seinen Geist anshängen müsse. Der Fürst wollte deshalb erst mit eigenen Augen sehen, was mit der Flasche geschehen sei; auch kam, wie Guericke berichtet¹⁾, ein anderes hinzu, was seine Ergebnisse als unsicher in Zweifel ziehen ließ. Was es war, erzählt er zwar nicht, immerhin suchte er in anderer Weise darzuthun, dass dieses Glasgefäß zwanzig, ja wenn man wolle, hundert Männer bezwingen und niederstrecken könne. Das bewog ihn, den in Fig. 131 dargestellten Versuch zu machen. Er befestigte einen

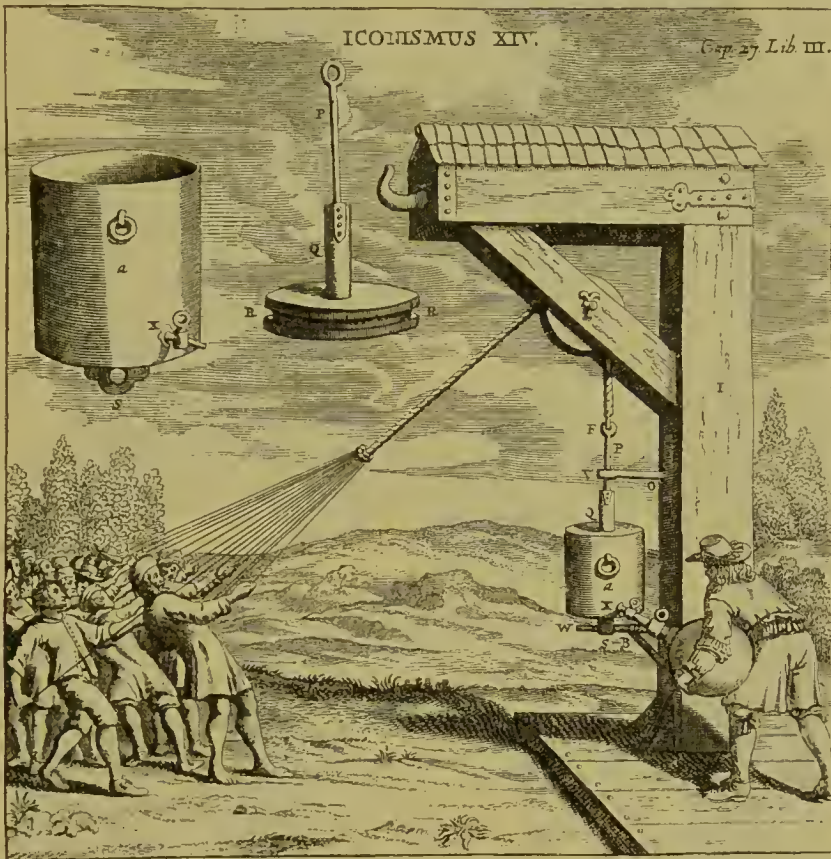


Fig. 131.

kupfernen Cylinder *a* durch den Bügel *S* und den Dorn *W* an ein Balkengerüst *J*, an welches unten ein durch den Hahn *X* verschließbares Rohr angesetzt war, während es durch den Kolben *R* abgeschlossen werden konnte. Ihn bildete das starke, mit einer Rille versehene cylindrische Brett *R*, welches mittels des Holzcylinders *Q* und der Eisenstange *P* an einem über eine Rolle gelegten Stricke befestigt worden war. Gedichtet wurde der Kolben durch Leinen oder Werg, welches in die Rille gelegt wurde. An den Strick waren Seile gebunden, und an sie griff eine Anzahl kräftiger Männer an. Brachte man nun den leer gepumpten

1) Guericke, Experimenta nova. S. 109.

Rezipienten durch den Hahn *X* mit dem Cylinder in Verbindung, so wurde der Kolben mit solcher Gewalt in den Cylinder gepresst, dass es der gesamten Kraft der die Seile Haltenden nicht möglich war, ihn in seiner Bewegung zu hemmen.

Eigentlich nur eine Spielerei war der in Fig. 132 dargestellte Apparat, den wir nicht erwähnen würden, wenn nicht Gnerieke durch ihn auf einige

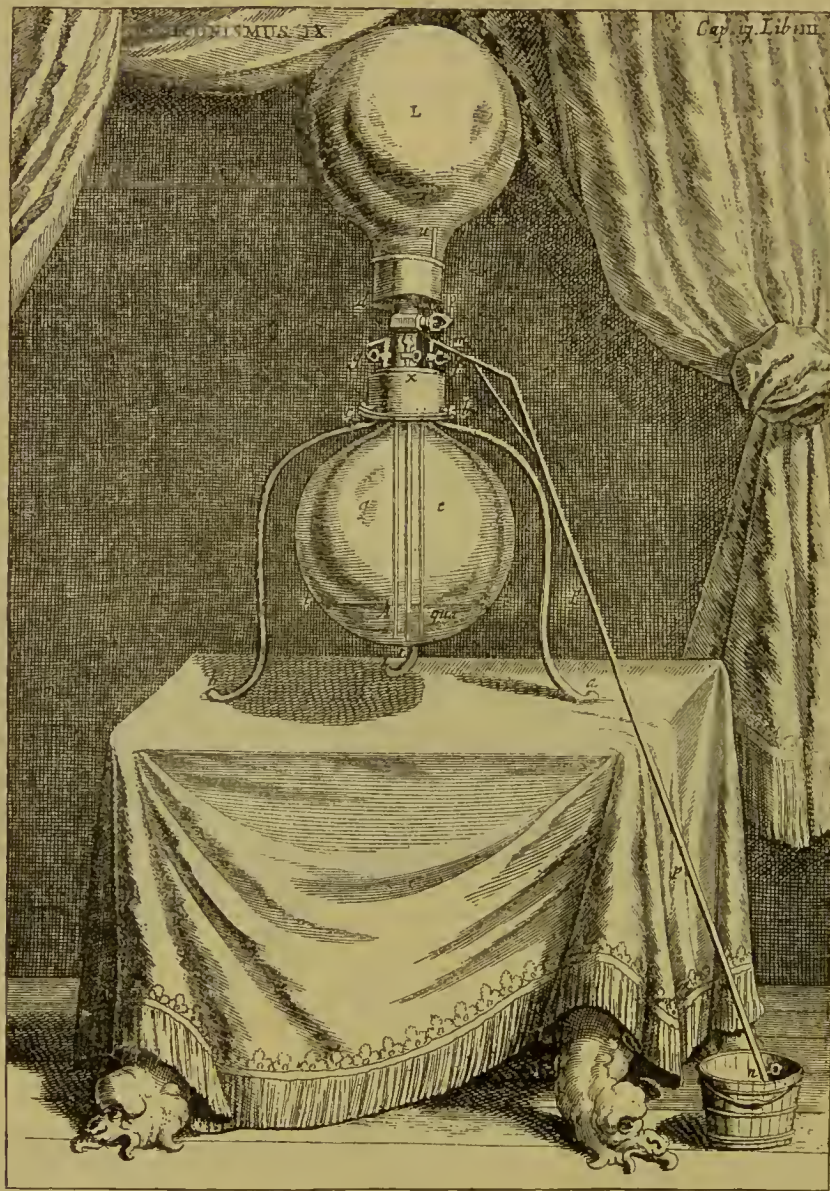


Fig. 132.

wichtigere Versuche gebracht worden wäre, wenn nicht gerade ihn die Zeitgenossen besonders angestammt hätten. Ihn bilden zwei in gewohnter Weise mit Fassung versehene Rezipienten, die durch das weite, den Hahn *d* enthaltende, bis auf den Boden von *eq* reichende Rohr miteinander in Verbindung gesetzt werden können. Die Fassung des unteren Rezipienten drehen außer *d* noch vier mit Hähnen versehene Röhrechen, die unten nur enge

Öffnungen besitzen. Zwei von ihnen, f und g , sind mit zwei im Winkel gebogenen Ansätzen versehen, in welche eine Röhre p angesetzt werden kann. Sie taucht in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, und es kann also mit ihrer Hilfe Wasser nach eq hereingebracht oder herausgezogen werden. In das untere Gefäß wird nun etwas Wasser gegossen, dann werden beide Gefäße mit Hilfe des kupfernen Rezipienten der Luftpumpe evakuiert. Öffnet man nun die vier Hähne ein wenig, so tritt mit »angenehmen Ton« Luft durch das Wasser langsam ein. Bringt man das Rohr p an, so kann man durch Öffnen des Hahnes f das ganze Gefäß mit Wasser füllen und dieses durch Öffnen von d in das obere Gefäß treten lassen, in welches es mit einer Gewalt eintritt, die dem Apparate gefährlich werden kann. Durch das Röhren u kann dies Wasser wieder abgelassen werden. Indem nun Guericke das Rohr p verlängerte, selbst in solchem Maße, dass das Wassergefäß im Hofe, der Apparat mit den beiden Rezipienten im dritten Stockwerk seines Hauses stand, sah er das Wasser immer noch nach eq steigen. Es gelangte aber nicht mehr dahin, als die Rezipienten ins vierte Stockwerk gebracht worden waren. Um trotzdem die Höhe messen zu können, bis zu welcher das Wasser im Rohre p stieg, ersetzte er dieses durch ein Glasrohr und beobachtete nun, dass die Höhe, bis zu der das Wasser gestiegen war, sich sehr oft änderte. Darans schloss er, dass die Ursache des Absehnens der Luft vor dem leeren Raume der Druck der Atmosphäre sei. Wir wissen leider nicht, wann Guericke diese Versuche anstellte, ob, was allein von Wichtigkeit sein würde, vor oder nach dem Reichstage zu Regensburg, weil er dort den Torricellischen Versuch kennen lernte¹⁾. In Anbetracht seiner streng logischen, aus den eigenen Versuchen gezogenen Schlüsse möchte man geneigt sein, das erstere anzunehmen.

Dafür würde auch die Eigenartigkeit des Apparates, auf dessen Konstruktion den Magdeburger Bürgermeister der geschilderte Versuch führte, und den Fig. 133, S. 144, zeigt, sprechen. Man sieht ihn im Hintergrunde in »Fig. II« so zusammengestellt, wie ihn Guericke an seinem Hause angebracht hatte, in der Mitte »Fig. I« erblickt man die ihn zusammensetzenden Röhrenstücke, und vorn links in »Fig. IV« den oberen Teil des Apparates. Wohl um anzudeuten, dass er dazu dienen sollte, die Schwankungen des Luftdruckes beobachten zu lassen, ist unten in der Mitte in »Fig. III« der am Wagebalken hängende ausgepumpte Rezipient abgebildet. Der Apparat wurde so zusammengesetzt, dass zunächst das untere Röhrenstück mit geschlossenem Hahn, b , aufgestellt und mit Wasser gefüllt wurde. Ihn wurden die übrigen Röhrenstücke aufgesetzt und in sie Wasser gegossen, zuletzt das oberste, dessen Hahn l ebenfalls geschlossen war. Dies oberste Stück bestand aus einem Kolben, in dem eine menschliche hölzerne Figur angebracht war, deren ausgestreckter Arm auf eine Teilung wies. Wurden

1) Guericke, Experimenta nova etc. S. 117.

nunmehr die Hähne *l* und *b* geöffnet, so sank das Wasser unter gewöhnlichen Umständen etwa so weit herab, wie aus »Fig. IV« ersichtlich ist, die Holzfigur aber schwamm aufrecht auf ihrer Oberfläche. Um das Geheimnis nicht zu verraten, umgab Guericke die Rohrleitung mit einer

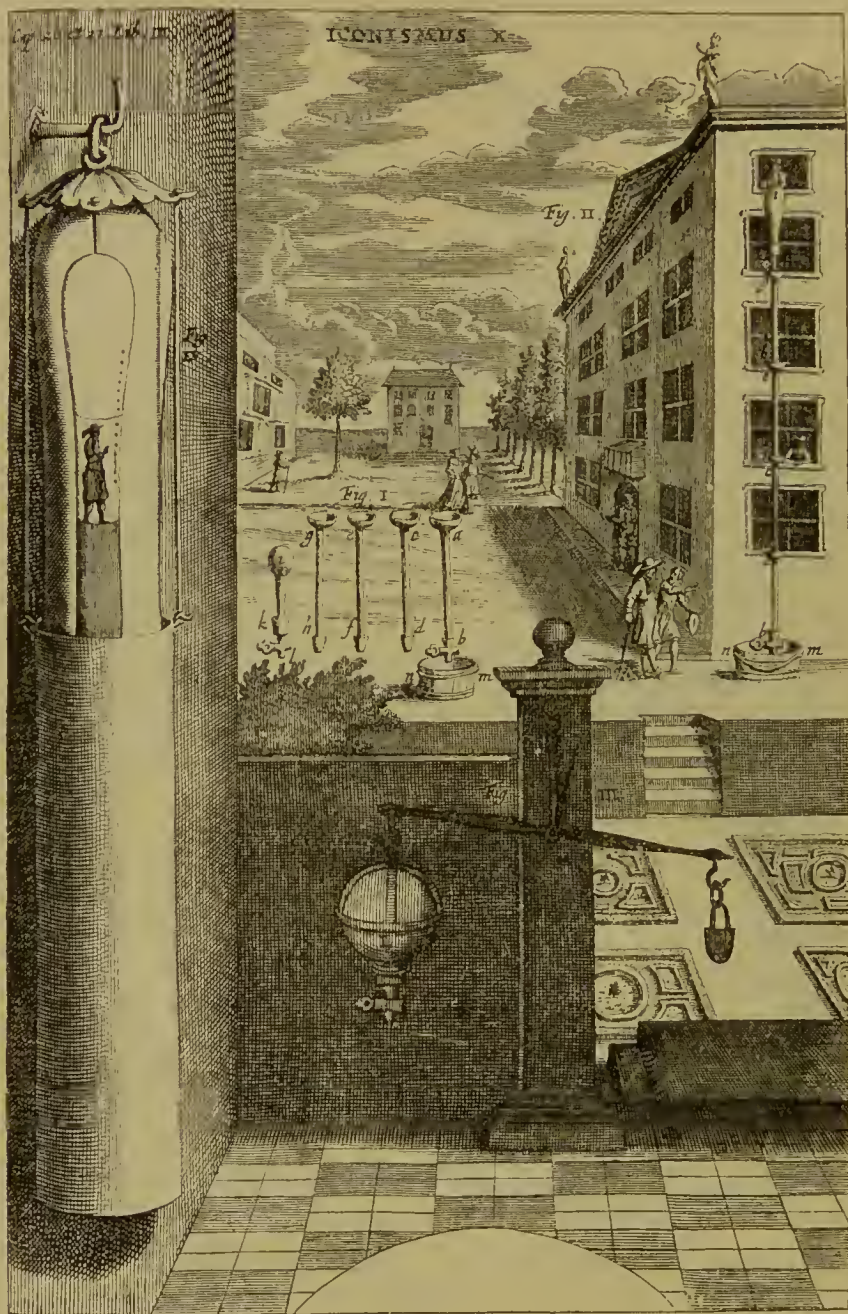


Fig. 133.

Blechkülle und hatte so den Apparat aufgestellt, mit dem er die rasche Abnahme des Luftdruckes beobachtete, die dem »umgehenden« Sturm von 1660 voranging¹⁾. Mit Recht macht Guericke darauf aufmerksam, dass

1) Guericke, Experimenta nova etc. S. 100.

dieser Apparat nicht mit dem Thermoskop zu verwechseln sei, »welehes durch die Wärme und Kälte verändert wird«.

Ein solches hatte er jedoch auch an der Wand seines Hauses angebracht, aber gleichfalls so verhüllt, dass man von außen seine Einrichtung nicht sehen konnte. Unsere Fig. 134 zeigt es rechts mit weggenommener, links mit aufgesetzter Blechumhüllung. *A* ist eine große Kugel aus Kupferblech, *BCDE* ein kupfernes Rohr, das etwa sieben Ellen herabsteigt und mit *A* verbunden ist. In das letztere wird Weingeist gegossen und darauf das rechts gezeichnete Gefäß *EL* aus dünnem Messingbleche gesetzt, welches insoweit mit Schrot beschwert ist, dass es völlig eingetaucht an der

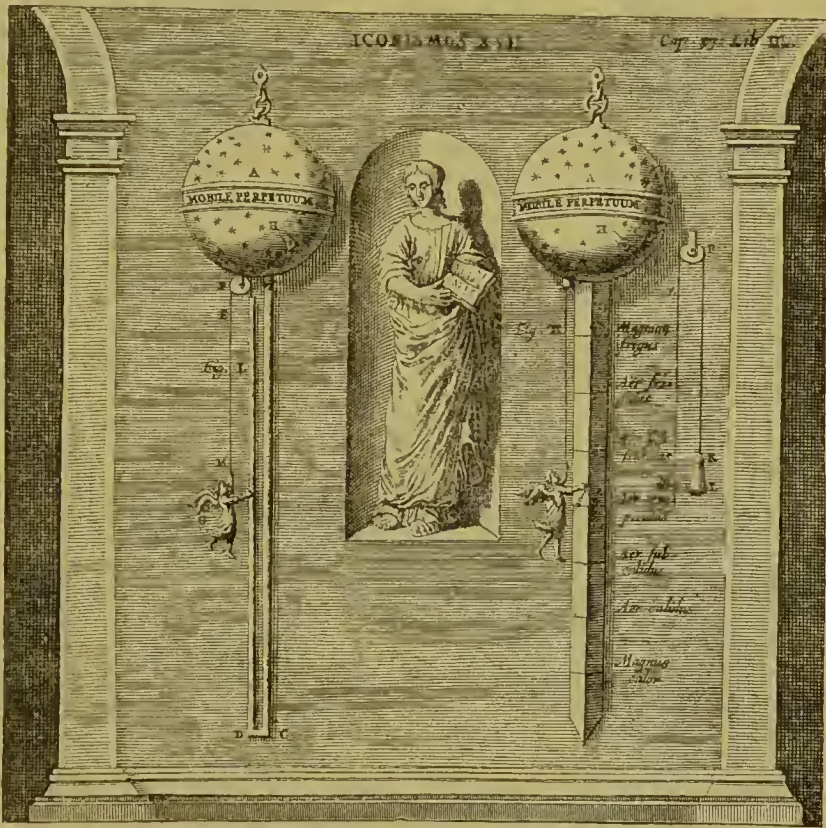


Fig. 134.

Oberfläche des Weingeistes schwimmt. An seinem oberen Ende ist ein gewachster Faden *EE* befestigt, welcher über die Rolle *F* geht und als Gegengewicht des Schwimmers ein Engelsfigürchen mit ausgestrecktem Arme trägt, den Zeiger für die auf der Blechhülle angebrachte Skala. Um die Luftmenge in der Kugel zu regeln, kann durch das Ventil *H* mittels der Luftpumpe etwas Luft herausgenommen werden. Dies geschieht am besten, wenn die reifbringenden Nächte beginnen. Man nimmt dann so viel Luft aus der Kugel herans, dass sich der Zeiger etwa auf die Mitte der Skala einstellt. Den ganzen Raum, den bei den wechselnden Lufttemperaturen der Zeiger durchlief, teilte Guericke in willkürlicher Weise in sieben Teile, die er mit sehr kalt, kalt, mäßige Kälte, temperiert, mäßig

warm, warm und sehr warm bezeichnete. Auch wohl um des Geheimnisses willen gab ihr Erfinder den beiden Apparaten die Aufschrift: »Mobile perpetuum« oder »Sempervivum«. Übrigens dachte er auch daran, zu dem nämlichen Zwecke den am Wagebalken sehwebenden Rezipienten und zum Teil ihres Luftinhaltes beraubte zugeblasene Glasgefäße zu benutzen, wie solche Boyle zu demselben Zwecke vorgeschlagen hatte.

Von der zweiten Luftpumpe Guericques sind, soweit bekannt, nur noch zwei Exemplare vorhanden. Das eine befand sich früher auf der Bibliothek



Fig. 135.

in Berlin und ist jetzt in die physikalische Sammlung der dortigen Universität übergeführt, das andere ist im Besitze der technischen Hochschule in Braunschweig. Jenes wird zuerst in einem Briefe erwähnt, den 1715 La Croze an Berger schrieb und der 1725 von Hendreich¹⁾ veröffentlicht ist. Es zeigt in seiner jetzigen Gestalt Fig. 135. Damals befand es sich bereits in der genannten Bibliothek, und durch die Mitteilungen seines Verfertigers sind wir wohl unterrichtet, wie es dorthin gekommen ist. Nachdem er berichtet hat, dass er verschiedene Maschinen

gebaut habe, wie solche von Schott beschrieben seien, erzählt er weiter²⁾: »Da aber diese Maschinen schwer zu transportieren waren und mein allergnädigster, mächtigster Herr, der Kurfürst von Brandenburg³⁾, mein wohlwollender Gebieter gütigst den Versuch zu sehen wünschte, [welchen der obenerwähnte Pater Schott den Magdeburgischen genannt hat], so habe ich die nachstehend beschriebene Maschine hergerichtet«.

Hieraus wird man schließen dürfen, dass der Berliner Apparat der für den großen Kurfürsten verfertigte ist und somit das erste Exemplar

1) De scribenda historia bibliothecae regiae Berolinensis Consilium et occasio, calamo epistolographico, trigae virorum expressa, Coronidis loco accedit Epistola denuo recusa Chr. Hendreichii de modo memoratae bibliothecae incunabulis. Berol. 1725.

2) Guericke, Experimenta nova. S. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 59. Leipzig 1894. S. 16.

3) Friedrich Wilhelm, der große Kurfürst, dem Guericke sein Werk auch gewidmet hat.

von Guericke's zweiter Luftpumpe sein dürfte. Sie selbst, sowie die an dem nämlichen Orte befindlichen großen Halbkugeln sind in allen ihren ursprünglichen Teilen erhalten. Das Braunschweiger Exemplar dagegen, welches aus der Sammlung von Beireis stammt, lässt sich nur bis zum Anfange dieses Jahrhunderts zurück verfolgen und gerade die wichtigsten seiner Teile sind offenbar später erneuert¹⁾.

Als letzter der von unserem Forscher erdachten Apparate, der zu seiner Bethätigung der Luftpumpe bedurfte, ist der in Fig. 136 dargestellte zu erwähnen, ein Werkzeug, das dazu dienen sollte, Geschosse zu schleudern. »Man stelle aus Messingblech«, so beschreibt ihn Guericke²⁾, »eine Röhre



Fig. 136.

abd von einem Durchmesser her, welcher den Bleikugeln, die man fortzuschleudern wünscht, entspricht. An dem einen Ende wird eine Art Ventil aus Messing [ähnlich dem Ventil, welches in Fig. 123 mit *b* bezeichnet wurde], angebracht, in welches eine lederne Scheibe *k* hineingesteckt werden kann, welche die Öffnung *a* verschließt. Die Röhre besitze auf ihrer unteren Seite bei *g* einen Spalt, welcher einen halben Finger lang und etwa so breit wie der Rücken eines Speisemessers ist. Unter diesem Spalte wird

1) Gerland, in Hofmanns Bericht. I. S. 37: die Geschichte der Luftpumpe im 17. Jahrhundert. Wiedemanns Annalen. 1883. XIX. S. 535.

2) Ostwalds Klassiker. Nr. 59. S. 82 u. 83.

ein engeres Rohr, das von *a* oder *g* bis *b* oder *e* reicht und in den Ansatz oder Kegel *e* ausläuft, mit dem vorerwähnten Kanal *ab* vereinigt. Und zwar muss dieser Bleehansatz von solcher Weite sein, dass er den Hahn *e* des Rezipienten *L* genau aufnimmt«. Wird nun der Hahn mit großer Geschwindigkeit einmal herumgedreht, so setzt der Luftdruck das Geschoss mit Heftigkeit in Bewegung, welches, die Lederseibe wegschlagend, in der Richtung des Rohres aus *a* heransfliegt. Nach Einsetzen neuer Lederseiben und Bleikugeln kann man den Versuch einigemal wiederholen, doch meint Guericke, dass der Apparat noch sehr verbesserungsfähig sei.

2. Centrifugalmaschine und elektrische Versuche.

Von den bisher geschilderten Experimenten Guericques unterscheiden sich die nun noch zu beschreibenden insofern sehr zu ihrem Nachteil, als sie von vornherein zum Beweis des Vorhandenseins der von ihm vorausgesetzten Weltkräfte dienen sollten. Ließ er sich demnach bei jenen von der Natur leiten, so versuchte er hier das Gegenteil und hatte denn auch die Nachteile seiner verkehrten Forschungsweise zu tragen.

Das Verständnis der natürlichen Bewegung, als welche Aristoteles die Kreisbewegung betrachtet hatte, im Gegensatz zu der gezwungenen geradlinigen, war durch Benedetti und Cardano angebahnt, aber obwohl es Galilei gelungen war, die parabolische Form der Wurflinie zu erklären, so hatte er diese Erklärung doch nicht auf die Kreisbewegung angewendet.

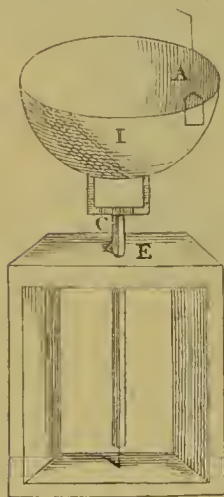


Fig. 137.

Zwar hat er in seinen Werken ¹⁾ eine Maschine abgebildet, die man eine Centrifugalmaschine nennen möchte. Aber sie sollte eine Erscheinung erläutern, die für uns kaum noch ein Interesse hat. Einer von Galileis Gegnern, der Jesuitenpater Grassi (1582—1654), den er im *Saggiatore* unter dem Pseudonym Sarsi bekämpfte, hatte als Meinung Galileis hingestellt, eine bewegte glatte Oberfläche risse die umgebende Luft nicht mit in ihre Bewegung hinein. Um das Irrtümliche dieser Behauptung darzuthun, hatte dann Grassi die in Fig. 137 dargestellte Maschine hergerichtet und gezeigt, dass das an einem Faden aufgehängte Papierscheibchen *A* der Drehung der polierten Metallschale *J* in der That folge. Galilei erhob nun freilich sogleich Widerspruch gegen die ihm aufgezwungene Ansicht, die eben gar nicht die seine sei. Grassi indessen ließ sich im Weiterexperimentieren nicht stören, doch haben die selbstverständliche Resultate gebenden Abänderungen jenes ersten Versuchs kaum ein Interesse.

1) Galilei, *Opere*. T. IV. S. 288.

Eher als die Maschine Grassis dürfte ein von Borelli¹⁾ (1608—1679) zur Erklärung der Bewegung der Planeten angestellter Versuch auf den Namen einer Centrifugalmaschine Anspruch machen, den er vor 1666 ausführte. Er brachte in eine U-förmige Röhre eine Kugel und setzte sie um eine senkrechte, durch ihren tiefsten Punkt gehende Achse in rasche Rotation, die Kugel stieg dann empor und behielt bei einer bestimmten Drehungsgeschwindigkeit eine bestimmte Höhe bei.

In ähnlicher Weise wollte Guericke mittels der in Fig. 138 abgebildeten Maschine das Dasein der »virtus repulsiva« erklären, die freilich auch bereits aus dem

da neben dargestellten Versuche mit einer im Kreise geschwungenen an dem bei *b* befestigten Faden gebundenen Bleikugel *a* folge. Die Maschine bestand aus einer Schale von starkem

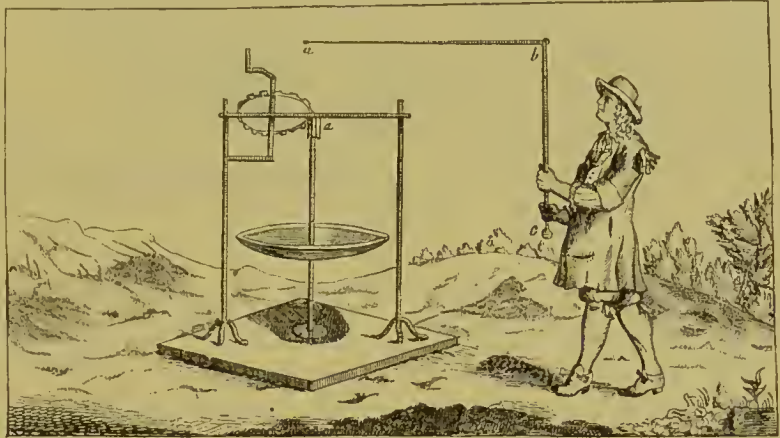


Fig. 138.

Messing, welcher mittels Räderüber-

setzung durch eine Kurbel eine rasche Drehung zu erteilen war. Werden Marmorkugeln von verschiedener Größe, wie die, »mit welchen die Knaben zu spielen pflegen, hineingebracht und die Schale in Bewegung gesetzt, so wird man beobachten, wie die größeren sich mehr dem Rande der Schale nähern, die kleineren der Achse näher bleiben. Das ist auch der Grund, warum in einer Mulde bewegte Samenkörner (Mohn- und Hanfsamen, Erbsen u. s. w.) sich nach ihrer Größe trennen lassen. Die solches bewirkende Kraft ist dem Körper, dem sie eingepreßt wird, proportional« und dieser erreicht bei einer gewissen Geschwindigkeit einen bestimmten Abstand von der Umdrehungsachse, wo er »in seiner natürlichen Lage« (*natralli sua statione*) verbleibt. Wenn somit Guericke sich auch von der Annahme der natürlichen Bewegung noch nicht frei machen kann, so schlägt er doch den richtigen Weg, zum Verständnis der Kreisbewegung zu kommen, ein.

Es ist noch übrig, den Apparat Guericques, den man vielfach als erste Elektrisiermaschine angesprochen hat, zu betrachten. Er bestand²⁾ aus einer Schwefelkugel von der Größe eines Kinderkopfes, die hergestellt wurde, indem man einen Glaskolben mit feingestoßenem Schwefel füllte, diesen schmolz und den Kolben nach dem Erkalten zerbrach. Durch die

1) Borelli, *Theoria mediceorum planetarum ex causis physicis deducta*. Florentiae 1666. S. 48.

2) Guericke, *Experimenta nova*. S. 147.

Kugel wurde dann ein Loch zur Aufnahme einer eisernen Achse gebohrt und diese in dazu angebrachte Schlitzte der Stützen *ac* und *bd*, Fig. 139, gelegt. Wurde nun die in ihren Lagern gedrehte Kugel mit der trockenen



Fig. 139.

Hand gerieben, so wurde sie, wie wir sagen würden, elektrisch. Der Apparat besaß also wohl den zu elektrisierenden Teil der Elektrisiermaschine und das Reibzeug, um aber eine solche genannt werden zu können, fehlte ihr der Konduktor. Aus den mit ihm angestellten Ver-

suehen schloß Guericke auf eine anziehende und abstoßende Kraft (*virtus conservativa und expulsiva*), außerdem auf die Kraft des Tönens, des Warmwerdens und des Leuchtens (*virtus soni, calefaciens und lucens*), alles in seinem Sinne Weltkräfte. Wie weit entfernt er aber war, die Anziehung und Abstoßung rein physikalisch zu fassen, geht daraus hervor, dass er sie den von Aristarch von Samos der Erde zugeschriebenen analogen Kräften an die Seite stellt. Da der griechische Astronom zur Erklärung jener beiden Kräfte eine Seele der Erde annahm, so sehen wir denselben Forscher, der soviel zur Aufklärung des »Abscheues der Luft vor dem leeren Raum« gethan hat, in der Annahme der Antipathie und Sympathie der Kugel gegen und für ein Federchen und umgekehrt befangen.

Trotzdem führten ihn die Versuche zu wichtigen, damals zum Teil ganz neuen Ergebnissen. Legte Guericke unter die Kugel auf das Gestell Schnitzel von Blattgold oder Blattsilber, von Papier u. s. w., so sprangen diese an die geriebene Kugel heran und wurden oft lange Zeit hindurch von ihr festgehalten. Nahm er die Kugel im geriebenen Zustande aus ihren Lagern und führte sie in der Luft umher, so zog sie ein leichtes Federchen erst an, stieß es aber nach der Berührung wieder ab, so dass man es durch geschicktes Handhaben der Kugel an jeden Ort des Zimmers bringen konnte. An die Spitzen von Gegenständen, die sich in ihrer Nähe befanden, flog sie heran, einer brennenden Kerze näherte sie sich etwa auf Handbreite, begab sich aber dann in beiden Fällen eilends zur Kugel zurück, um bei dieser »gleichsam Schutz zu suchen«. In der Nähe der geriebenen Kugel wendet sie dieser, wie der Mond der Erde, stets dieselbe Seite zu, und dieser Versuch scheint Guericke geeignet, das Verhalten unseres Trabanten zu erklären. Zwischen der Kugel und dem ihr entgegengehaltenen Finger fliegt die Feder mehrmals hin und her. Hing

Guericke einen Leinenfaden so auf, dass sein Ende sich in der Nähe der Kugel befand, so wick er dem genäherten Finger aus. Befestigte man ihn an einem zugespitzten Stücke Holze und ließ ihn lang herabhängen, so legte sich sein unteres Ende an die in der Nähe befindlichen Gegenstände an, so oft man die geriebene Kugel der Spitze des Holzstückes näherte. Hielt der Experimentator das Ohr in die Nähe der Kugel, so vernahm er ein Rauschen und Knistern in ihr, im dunklen Raume leuchtete sie, wie Zucker, der durchgebrochen wird.

Sieht man das, was Guericke über die *virtus calefaciens* sagt, nicht genau an, so könnte man zu dem Schlusse kommen, er habe auch den elektrischen Funken zuerst gesehen: »Wie die *virtus calefaciens*«, sagt er nämlich¹⁾, »durch starke Reibung in jedem Körper erregt werden kann, so dass, wenn die Hitze sehr groß wird, endlich Feuer entsteht oder herausspringt, so kann man leicht erraten, dass diese *virtus calefaciens* auch in dieser Kugel durch fortgesetztes und kräftiges Reiben erzeugt werden kann«. Indessen ist mit dieser Bemerkung der elektrische Funken ganz gewiss nicht gemeint, da er ja keineswegs durch Reiben jedes beliebigen Körpers nach dem Stande der damaligen Experimentierkunst erhalten werden konnte. Dass ihn Guericke wirklich nicht beobachtet hat, ergibt sich aus dem Erstaunen über die briefliche Mitteilung, in der Leibniz ihm über die von der Schwefelkugel zu erhaltenden Funken schreibt. Dieser bedankt sich in demselben Briefe für die Zusendung der Schwefelkugel und Feder, um die er gebeten hatte, Guericke versteht aber, wie seine Antwort beweist, gar nicht, was Leibniz mit den Funken meint²⁾.

Wir können es uns nicht versagen, zum Schlusse unserer Mitteilungen über Guericke die Worte hierher zu setzen, mit welchen seiner sein Urnkel, der Regierungsrat von Biedersee, in einem allerdings nur teilweise noch erhaltenen Beitrage zur Geschichte des Herzogtums Magdeburg³⁾ 1775 gedenkt. Ist auch die Sachkenntnis nicht groß, über die der Berichterstatter verfügt, und sind die Daten, die er für seines Ahnherrn Erfindungen giebt, ganz unzuverlässig⁴⁾, so haben doch die Familienerinnerungen, die sich über dessen Experimentieren und die dazu aufgewendeten Mittel erhalten haben, ein eigentümliches Interesse. »Otto von Guericke«, lesen wir da. »dessen Haus in der Zerstörung von Magdeburg 1631 unbeschädigt geblieben, erhielt vor dasselbige ein Kayserlich *salva guardia*, welche sich noch 1757 an einem Thor des Hintergebäudes angemahlt fand, sie findet sich gedruckt Vol. in fd. Nro. in diesen Jahren von 1632 bis 1638 hat er die meisten seiner Entdeckungen gemacht. Ich habe ein Astrolabium und Wasserwage, woran er selbst gestochen fait par Otto de Guericke Ingenieur a Magdeburg 1632 und unten: Im Jahre nach

1) Guericke, *Experimenta nova*. S. 149.

2) Gerland, *Elektrotechnische Zeitschrift* 1883. IV. 249.

3) Stadtbibliothek zu Magdeburg. XII. Folio. Nr. 104. Anhang. S. 13.

4) Gerland, *Wiedemanns Annalen* 1883. XI. S. 538.

derselben kläglichen Zerstörung. Die Arbeit zeigt sattsam, dass es nicht die erste seiner Erfindungen gewesen, sowie die Verguldung dieser und anderen damals gemachten Instrumente und Maschinen erweist, dass er etwas daran gewendet, wie dann sein Sohn der Geheimde Rath Otto von Gnerieke versichert, dass seine Experimente ihn über 20000 Thlr. gekostet hätten. Das Wetter Männichen, welches Mr. de Monconys¹⁾ bey ihm gesehen, ist ein vollkommenes Barometer, aber so prächtig gemacht, dass es nach seinem Tode zu 800 Thlr. taxirt ist, soviel wendet man wohl nicht an den bloßen Zierrath einer Maschine, an deren Erfindung man keinen Antheil hat. Aus der Menge und Verschiedenheit der Glaß-Röhren, die ich in seiner fast 70 Jahre fast immer verschloßen gewesenen Bibliothec gefunden und die größtentheils mit scalen verschiedener Art bezeichnet und bemahlet und zum theil vergoldet waren, kan man wohl abnehmen, daß er selbst experimentirt und nicht bloß imitirt habe. Ao 1646 da Torieellus seine Erfindung publicierte, ward Otto de Gnerieke in Gesandtschaften gebraucht und seine Arbeit bis 1666 in den Angelegenheiten der Stadt war so groß und viel, daß er wohl nicht an sein favoritstudium denken können, folglich ist nicht unwahrscheinlich, dass das Wetter Männichen, so Monconys bey ihm gesehen vor 1646 gemacht [wenigstens erdaecht]²⁾ sey. Die scala, so an die Röhre mit Puncten gezeichnet, gleich einer ersten Erfindung, aber die Verzierung zeigt, wie wichtig ihm diese Erfindung gewesen, 8 große in feuer verguldete Bleche, haben nach einer von ihm selbst geschriebenen Note 120 Thlr. zu stehen gekostet, und außer diesen ist wohl ein paar Mark Silber an den Gestelle, welehes von Eben Holz und mit Marmor und andern Steinen furnirt ist. Die Mißhelligkeit unter seinen 3 Kindern, und ein neuerer Zufall haben seine wichtige Correspondenz und Nachrichten vernichtet. ich habe nur fragmente gefunden. eben daher habe ich auch nur $\frac{1}{3}$ seiner Maschinen erhalten, doch die wichtigsten, als

1. Die 2 ersten Luft Pumpen³⁾.
2. 3 große Recipienten und Apparatum zum experimentieren mit der Autlia.
3. Die großen haemisphäria damit er in Gegenwart des Kayzers experimentirt hat⁴⁾.
4. Die 2 wettermännchen oder Barometern.
5. Die große Schwefel Kugel zum elektrisiren.
6. Das von ihm selbst verfertigte Astrolabium.
7. Die Maschine dadurch er das Sehclendern der Planeten um die Sonne demonstrieren wollen.

1) Moneonys, Journal de voyages. Lyon 1695. 2. Aufl. Deutsch von Junker. 1697.

2) Die in [] geschlossenen Worte sind am Rande beigefügt.

3) Vgl. Gerland, Wiedemanns Annalen 1883. XIX. S. 538.

4) Dies möchte nicht richtig sein, da Guerieke seine in Regensburg benutzten Apparate seiner eigenen Erzählung nach dem Bischof von Würzburg überließ.

8. Die Spritze, so ihn zuerst auf den Gedanken des exantlireus gebracht.
9. Einige incomplete Sachen, Stative, Stäbe zum Nivelliren u. s. w. «.

Die Schüler Galileis.

1. Luftdruck und Vakuum.

Während Guericke und Boyle durch geschicktes Experimentieren die unzureichende Ansicht Galileis von der Ursache des Eindringens der Luft in den leeren Raum aufgeklärt hatten, waren des großen Florentiners Schüler in derselben Richtung mit nicht geringerem Erfolge thätig gewesen, ja es war Torricelli noch früher geglückt als den genannten Forschern, den Widerstand der Körper gegen den leeren Raum durch die Annahme des Luftdruckes zu ersetzen. Ob die Erzählung von den Brunnenmachern, die sich vergeblich bemühten, mittels einer Saugpumpe Wasser höher als 10 m hoch zu heben und ebenso vergeblich Galilei um Erklärung des Misslingens baten, wahr ist, wissen wir nicht. Da dieser aber in den Discorsi durch Sagredo den Vorfall als Beispiel auführen und ihn, so gut er dazu im stande war, durch Salviati erklären lässt¹⁾, so ist sie völlig glaubhaft. Erst Torricelli (1608—1647) führte die genaue Analyse dieser Beobachtung 1642 als den ersten zur Entdeckung des Luftdruckes, und Viviani war es, welcher das von Torricelli erdachte Prüfungsmittel dieser Lehre, das erste Barometer, nach Rücksprache mit dem Erfinder, herstellte. Es ist noch in Florenz vorhanden, unterscheidet sich aber in nichts von den jetzt gebräuchlichen Gefäßbarometern.

Torricellis weitere Arbeiten waren theoretischer Natur, die übrigen Schüler und Anhänger Galileis aber hielten es für ihre Aufgabe, nach des Meisters Tode dessen Lehren experimentell zu beglaubigen. Da dieser das nur in beschränktem Maße gethan, so war ihnen hier ein Arbeitsfeld zugewiesen, durch dessen Bebauung sie ihre Pietät in hervorragender Weise bethätigen konnten. Mit ihnen in Gemeinschaft arbeiteten Galileis fürstliche Schüler aus dem Hause der Mediceer, der Großherzog Fernando II. von Toscana (1610—1670), und sein Bruder Leopoldo von Medici (1617—1675), unter dessen Patronat sie 1657 zu einer Akademie zusammentraten, deren Namen, Accademia del Cimento, ihren Zweck mit aller Schärfe hervortreten ließ. Wer den Plan für die einzelnen Versuche fasste, wer sie ausführte, lässt sich für gewöhnlich nicht feststellen, mehrere der wichtigsten schrieben die Akademiker ihrem Herrn, dem Großherzog, zu. Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen wurden 1667 von Magalotti unter dem Titel *Saggi di naturali Esperienze fatte nell' Accademia del Cimento*

¹⁾ Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 11. 1890. S. 16.

veröffentlicht, 1731 von Pieter van Musschenbroek (1692—1761) in das Lateinische übersetzt und mit Anmerkungen versehen herausgegeben¹⁾.

Die Saggi enthalten der Reihe nach die Beschreibung einiger Instrumente, welche zur Bestimmung der durch Wärme und Kälte hervorgerufenen Änderungen der Luft dienen; die Beschreibung eines Instrumentes zur Bestimmung des Unterschiedes der Feuchtigkeits in der Luft; die Beschreibung einiger Instrumente, welche zur Messung der Zeit angewendet worden sind; Versuche, welche sich auf den natürlichen Druck der Luft beziehen; Beschreibung von Instrumenten, welche verschiedene, bei natürlicher Höhe des Luftdruckes eintretende Änderungen zeigen; verschiedene, im luftleeren Raume angestellte Versuche; Beschreibung verschiedener Erscheinungen, welche an Tieren, die im luftleeren Raume eingeschlossen sind, beobachtet werden; Versuche über künstliche Eisbildung; Versuche zur Bestimmung der größten Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren; Versuche über den Fortschritt künstlicher Eisbildung und über die dabei auftretenden merkwürdigen Erscheinungen; Versuche über das natürliche Eis; Versuche über eine vor kurzem beobachtete Wirkung der Wärme und Kälte, welche in der Änderung der inneren Kapazität von Metall- und Glasgefäßen besteht; Versuche über die Zusammendrückung des Wassers; Versuche zum Beweise, dass es keine positive Leichtigkeit gebe; Versuche über den Magneten; Versuche mit Ambra und anderen Körpern von elektrischer Kraft; Versuche über einige Farbenänderungen in verschiedenen Flüssigkeiten; Versuche über die Schallbewegung; Versuche über Geschosse; Versuch, um das absolute Gewicht der Luft in Bezug auf Wasser zu bestimmen; Versuche über einige Wirkungen der Wärme und Kälte; Versuche, um festzustellen, ob Glas von Gerüchen oder von Feuchtigkeit durchdrungen werden kann; Versuche über das Licht und dessen Wirkungen; Versuche über die Verdauung einiger Tiere.

Aus dieser Inhaltsangabe ergibt sich, dass die Akademiker nicht nur die Arbeiten Galileis und Torricellis weiter zu führen beabsichtigten; sie stellten auch neue Probleme auf und suchten sie auf experimentellem Wege aufzuklären. Es fällt sogleich auf, dass sie die Aufgaben, die Guerike zu lösen trachtete, ebenfalls in Angriff genommen haben, wie es nicht anders zu erwarten war, da die italienischen wie der deutsche Forscher an Galilei anknüpften, dass aber bei den Versuchen über den Luftdruck diesem, bei den übrigen jenen die größere Originalität zuzusprechen ist.

Die Versuche über den Luftdruck hatten zunächst den Zweck, die Torricellis'sche Lehre ihren Widersachern gegenüber experimentell zu bestätigen. Dann aber sollten sie das Verhalten verschiedener Körper im luftleeren Raume kennen lehren. Soviel wie möglich bedienten sich die

1) P. van Musschenbroek, *Tentamina experimentorum naturalium captorum* in Accademia del Cimento. Lugd. Bat. 1731.

Akademiker zu diesen Versuchen der Barometerleere, in einzelnen Fällen auch der Luftpumpe. Die Art, wie Torricelli das Verhalten von Tieren im luftleeren Raume untersucht hatte, indem er sie durch das Quecksilber seines Barometers emporsteigen ließ, verwarfen sie mit Recht, weil die Tiere an dessen Oberfläche in den meisten Fällen tot oder doch sehr beschädigt angekommen waren. Sie verwendeten deshalb zu diesem Versuche eine Luftpumpe einfachster Konstruktion, als deren Erfinder sie jedoch Boyle nannten. »Wir kamen«, erzählen sie ¹⁾, »darauf, jenes (das Untersuchungsobjekt) in ein Gefäß zu bringen, aus dem die Luft durch Pumpen entfernt wurde, wie es vor kurzem in glücklicher Weise Boyle für seine ausgezeichneten und berühmten Versuche erfand, aber in Ermangelung eines Künstlers, welcher die Maschine hätte bauen können, nicht zur Ausführung brachte.« Es ist nicht recht verständlich, wie die Akademiker in diesen Irrtum verfallen konnten, möglichenfalls trug das enge Freundschaftsverhältnis, welches der Herausgeber der *Saggi Magalotti* mit dem englischen Gelehrten geschlossen hatte, daran die Schuld ²⁾. Übrigens erzielten sie weder mit der Luftpumpe noch mit dem Barometer, was hier gleich bemerkt werden mag, sehr bedeutende Verdünnung der Luft ³⁾.

Wir wenden uns nach diesen allgemeineren Bemerkungen nummehr zu der Betrachtung der einzelnen, von den Akademikern über den Luftdruck und das Vakuum angestellten Versuche, welche ein für damalige Zeit überraschendes experimentelles Geschick bei freilich nicht immer glücklicher Fragestellung beweisen. Offenbar wurden sie durch einen tüchtigen Glasbläser, wohl Guiseppe Moriani, auf das wirksamste unterstützt.

Ihre ersten Versuche sollten über das Wesen des Barometers nach allen Richtungen hin Klarheit verbreiten. Dazu stellten sie zunächst ein Barometer im luftleeren Raume eines anderen Barometers her oder sie ließen vielmehr nach Anweisung von Fig. 140 die untere Öffnung eines Barometers in der erweiterten Kammer eines zweiten münden. *KL* und *DE* sind zwei oben offene Röhren von mindestens $1\frac{1}{4}$ Cubiti (etwa 28" rheinl.) Länge, *DE* ist oben zu dem Gefäße *AB* erweitert, welches mittels des Deckels *AG* geschlossen werden kann. Bei *G*, zur Aufnahme des Rohres *KL* durchbohrt, trägt der Deckel bei *H*



Fig. 140.

1) van Musschenbroek, *Tentamina*. I. S. 87.

2) Poggendorff, *Geschichte der Physik*. S. 358.

3) van Musschenbroek, *Tentamina*. I. S. 27 und 88.

ein Röhrchen mit enger Öffnung, *J*. In das Gefäß *AB* wird das zweite *FQ* heringestellt und darauf das Rohr *KL* in die Öffnung *G* mit Mastix oder einem im Feuer erweichenden Kitte luftdicht eingesetzt. Darauf wird es mit dem Deckel auf *AB* angebracht und dieser auf dem Gefäße *AB* mit einem aus ganz fein geriebenen Ziegeln, Terpentin und griechischem Pech bestehenden Kitt befestigt. Ist der Apparat so zusammengestellt, so wird das untere Ende von *DE* mit einem Stücke Blase fest verschlossen und, nachdem dies geschehen, der ganze Apparat durch *K* mit Quecksilber gefüllt. Beginnt dies bei *J* anzulaufen, so wird auch diese Öffnung mit Blase zugebunden und ebenso *K*, wenn das Quecksilber den ganzen Apparat angefüllt hat. Nunmehr öffnet man das untere Ende *D* und taucht es in das herauslaufende Quecksilber, welches die Schüssel *MN* erfüllt. Es sinkt bis *O*, so dass *OP* etwa $1\frac{1}{4}$ Cubiti beträgt, aus *KL* aber fällt es, *QL* füllend, ganz heraus. Durchbohrt man nun aber *J*, fällt das Quecksilber aus *DE* ganz heraus, bei *KL* dagegen steigt es wieder empor bis zu einer Höhe von $1\frac{1}{4}$ Cubiti. Auch jetzt noch würde der hübsche, aber umständliche Versuch seine Wirkung auf einen größeren Kreis nicht verfehlen, übrigens hatte ihn Roberval¹⁾ bereits früher angestellt.



Fig. 141.

Dass in die Barometerkammer gebrachte Luft ihr Volumen vergrößert, wiesen sie in der nämlichen Weise nach, wie dies Roberval und Boyle schon gethan hatten, um das nämliche für den Rezipienten zu zeigen. Sie hingen, wie Fig. 141 zeigt, an den Deckel der erweiterten Barometerkammer eine zusammengedrückte und zugebundene Lammblase und sahen sie sich ausdehnen, während das Quecksilber sank. Ersetzten sie die Blase durch Schaum aus Eiweiß oder Seifenwasser, so bildeten sich größere Blasen. Beide Versuche werden auch jetzt noch zum Nachweis der Wirkung der Luftpumpe als Vorlesungsversuche benutzt.

Der durch Fig. 142 dargestellte Versuch hatte dagegen den Zweck, in einer Meinungsverschiedenheit der Akademiker die Entscheidung herbeizuführen. Er ist außerdem interessant, weil bei ihm wohl zum erstenmal eine auf die Unterlage aufge kittete Glasglocke zur Verwendung kam. Die Frage war, ob nur das Gewicht der unter dieser befindlichen Luft die gehobene Quecksilbersäule im Gleichgewicht hielt, oder ob auch in diesem die ganze Atmosphäre mitwirkte. Bestand die erste Ansicht zu Recht, so hätte nach dem luftdichten Aufkitten der Glocke *BD* das Quecksilber im Barometer tief heruntergehen müssen; es behielt aber seinen Stand. Dass hierbei lediglich der Druck, unter dem die Luft in die Glocke getreten war, bestimmend wirkte, ergab die Versuchsanordnung, wie sie Fig. 143 zeigt. Bei ihr diente als Gefäß ein doppelt tubuliertes Glasgefäß; in den Tubulus *AD* setzten sie das Barometerrohr und verkitteten es, an den

1) van Musschenbroek, Tentamina. I. S. 30.

Tubulus *C* befestigten sie luftdicht einen Pumpenstiefel mit Kolben. Sie beobachteten, dass das Quecksilber im Barometer von *O* bis *J* sank, wenn sie den Kolben herauszogen. Dagegen stieg es, wenn sie die Luft *AGH* mit genähertem Feuer erhitzen, sank aber, wenn sie sie mit aufgelegtem Eis abkühlten, gerade so, als ob die Luft, wie es durch die entgegengesetzten Operationen der Pumpe geschah, vom Feuer verdichtet, vom Eis ansgedehnt würde.

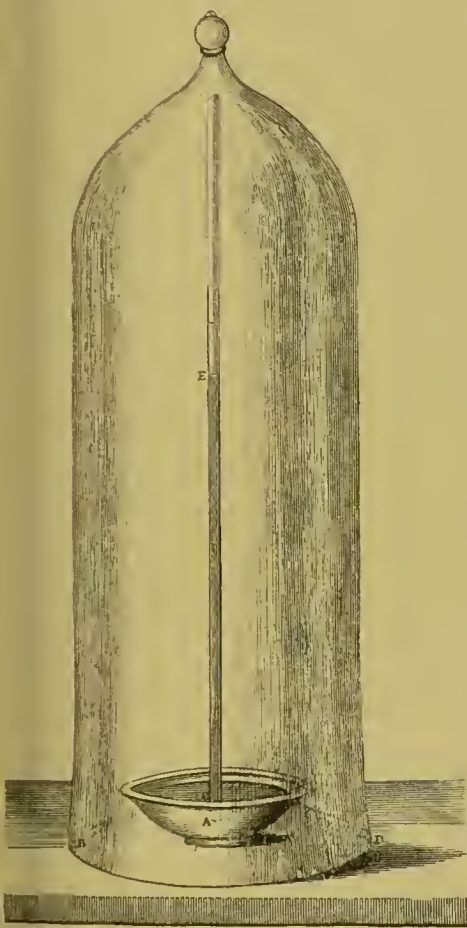


Fig. 142.

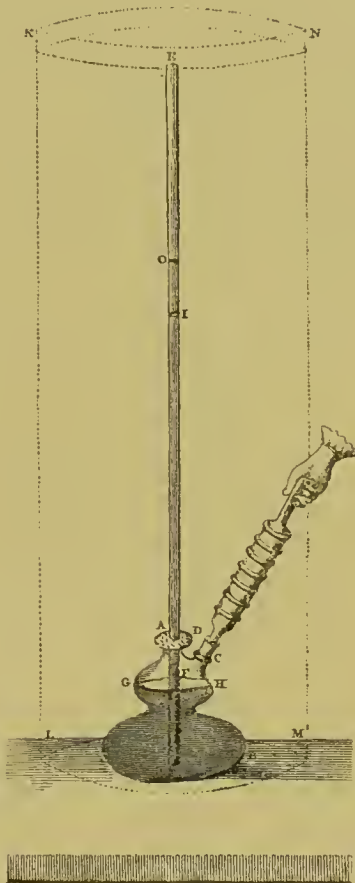


Fig. 143.



Fig. 144.

Auch über die Abhängigkeit des Volumens der Luft vom Drucke stellten die Akademiker Versuche an, ohne jedoch zu einer präzisen Fragestellung zu gelangen und demgemäß brauchbare Ergebnisse zu erhalten.

Eine Reihe weiterer Versuche beabsichtigte das verschiedene Verhalten des luftgefüllten und des luftleeren Raumes darzulegen. Diesem Zwecke dienten die Apparate Fig. 144. In die obere Öffnung des die Länge von $1\frac{1}{4}$ Cubiti überschreitenden, beiderseits offenen Glasrohres *DE* kitteten sie das engere und kürzere Rohr *AB*, welches mit Quecksilber gefüllt und auf beiden Seiten mit Blase zugebunden war. Mittels eines in dieses Rohr gebrachten eisernen Stiehels war es möglich, durch einen auf die Blase

bei *A* ausgeübt. Druck die Blase bei *B* zu durchstoßen. Gesah das nun, während *DE* mit Quecksilber gefüllt und in das Gefäß *FG* in Quecksilber umgestürzt worden war, so lief das Quecksilber aus *AB* aus, hörte aber auf zu fließen, sobald man Luft in *DE* einließ. Sodann setzten sie das enge Barometerrohr *DE* (reehts) in ein weiteres, welches oben einen



Fig. 145.

seitlichen Ansatz mit leicht abzubrechender Spitze aufwies. Das innere war unten schräg abgesehnt, so dass es immer mit dem äußeren in Verbindung blieb. Füllten sie nun beide mit Quecksilber und kehrten sie in Quecksilber um, so entstand in beiden die Leere. Sperrten sie beide dagegen mit dem Finger ab und öffneten die Spitze des äußeren, so fiel in diesem das Quecksilber, während es in jenem stieg und es bis oben hin erfüllte, wenn es nicht viel länger wie $1\frac{1}{4}$ Cubiti war. Brachten sie das mit Quecksilber gefüllte in eine Spitze ausgezogene Glasgefäß, welches in Fig. 145 abgebildet ist, nachdem seine Öffnung mit Wachs zugeschmolzen war, in die Barometerleere und schmolzen



Fig. 146.

das Wachs mittels einer von außen genäherten Kerzenflamme ab, so floss das Quecksilber aus, hörte aber sofort auf, sowie Luft eingelassen wurde. Ebenso beobachteten sie an einem Barometerrohr, welches unten in eine feine Spitze ausgezogen war, dass das Quecksilber solange unten in einem feinen Strahle ausfloss, bis sein Stand oben die Höhe des augenblicklich herrschenden Barometerstandes erreicht hatte.

Der mit dem Apparat (Fig. 146) angestellte Versuch ließ sie erkennen, dass das Barometer als der eine Sehenkel eines kommunizierenden Rohres aufzufassen sei. Sie füllten zunächst den unteren kugelförmigen Raum *GB* des Gefäßes *AB* mit Quecksilber, und schmolzen das Röhrechen *BC* bei *C* zu, als dort das Quecksilber auszufließen begann. So konnten sie sicher sein, dass die Luft aus *GB* völlig angetrieben war. Darauf setzten sie das unten bei *F* schief abgeschnittene, oben geschlossene mit Quecksilber gefüllte Röhrechen ein. Seine Länge betrug noch nicht $1\frac{1}{2}$ Cubiti und es war so eng, dass das Quecksilber nicht ausfloss, auch wenn die Öffnung nach unten gehalten wurde. Der ganze Apparat wurde nun von *H* bis *AD* mit kochendem Wasser gefüllt, durch die durchloechte, besonders gezeichnete Glasplatte bedeckt und diese mit übergezogener Blase festgebunden. Er-

kaltend zog sich nun das Wasser bis *IM* zusammen, das Quecksilber im inneren Rohr aber sank bis *K*, stieg aber wieder in dem Rohr es ganz erfüllend empor, sobald man die Blase durchloechte.

Der Versuch verlief ebenso, wenn sie das Quecksilber durch Wasser ersetzten.

Den sich im Raum über *IM* bildenden Wasserdampf hielten die Akademiker wie ihre sämtlichen Zeitgenossen für Luft. »Einige haben geglaubt«, sagen sie¹⁾, »dass das Wasser in dem Rohre nicht zu derselben Höhe herabsinke, wie das Wasser im Gefäße, nach Maßgabe des hervorgerufenen Vakuums,... aus demselben Grunde, den wir in dem vorhergehenden Versuche heranzogen; denn die Luft, welche aus dem Wasser austritt, bezieht sich in den leeren Raum, der vielleicht zu eng ist, als dass sie sich in ihm entwickeln könnte; deshalb haben sie daran gedacht dadurch, dass sie diesen Versuch mit Wein, Öl, Weingeist und anderen Flüssigkeiten anstellten, aus dem größeren oder kleineren leeren Raum, welcher im Rohre zurückbleibe, erkennen zu können, welche Flüssigkeit die größere Menge Luft zwischen ihren Theilen enthalte.«

Führte der Versuch die Akademiker somit auch noch nicht zur Unterscheidung des Dampfes und der Luft, so gab er ihnen doch ein bequemes Mittel zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes an die Hand, welches die Figg. 147 und 148 erläutern. Sie führten, Fig. 147, das bei *C* in eine enge Öffnung ausgezogene, mit Quecksilber bis zu der durch den Luftdruck bedingten Höhe gefüllte Barometerrohr in das unten sich kugelförmig erweiternde cylindrische Gefäß *AC*, welches bis *EB* mit Quecksilber gefüllt war. Gossen sie nun den Raum *AB* voll Wasser, so stieg das Quecksilber im engen Rohr bis *F*, ersetzten sie das Wasser durch Öl oder Weingeist, so erhielten sie die entsprechenden Erhebungen bis *G* und *H*. Dabei entging es ihnen nicht, dass sie die nämlichen Beobachtungen zu machen im stande wären, wenn sie das Barometerrohr durch ein kürzeres, oben und unten offenes ersetzten, dessen untere Öffnung in das Quecksilber tauchte. Das gab den viel hand-



Fig. 147.

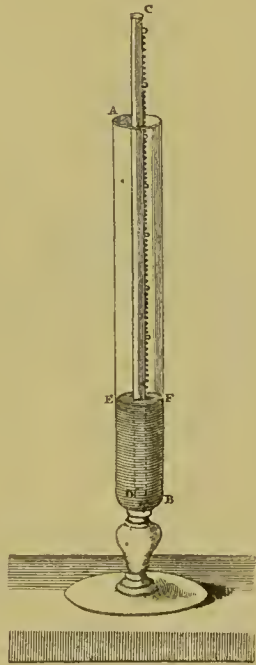


Fig. 148.

1) van Musschenbroek, a. a. O. S. 49.

lieheren Apparat Fig. 148 S. 159. Für die genauen Ablesungen bedurften aber die Röhren einer Theilung in »Grade« und eine solche erhielten sie, indem sie auf das Glas des Rohres in gleichen Abständen Tröpfchen schwarzen Glases aufschmelzen ließen, von denen jedesmal das zehnte durch ein Tröpfchen Milchglas ersetzt war¹⁾.

Die nun noch zu schildernden Versuche, welche die Akademiker mit dem Barometer anstellten, hatten zum Zweck die in Frankreich zuerst

erkannte Abhängigkeit des Barometerstandes von der Erhebung über den Meerespiegel zu untersuchen²⁾. Dazu mussten sie zuerst das

Barometer transportierbar machen. Wie sie dies zu erreichen dachten, zeigt Fig. 149, die nach dem früher Gesagten weiter keiner Erklärung bedarf. Mit der Genauigkeit der erhaltenen Apparate waren aber die Akademiker nicht zufrieden. Sie konnte auch nicht groß sein, da bei den an Ort und Stelle verbleibenden Instrumenten Änderungen in der Höhe des Quecksilbers von mehreren Graden beobachtet wurden. Sie wußten wohl, dass daran die Luft schuld war, die sie aus ihren Instrumenten nicht entfernen konnten und so lässt es ihren experimentellen Scharfsinn in vorteilhaftestem Licht erschei-



Fig. 149.

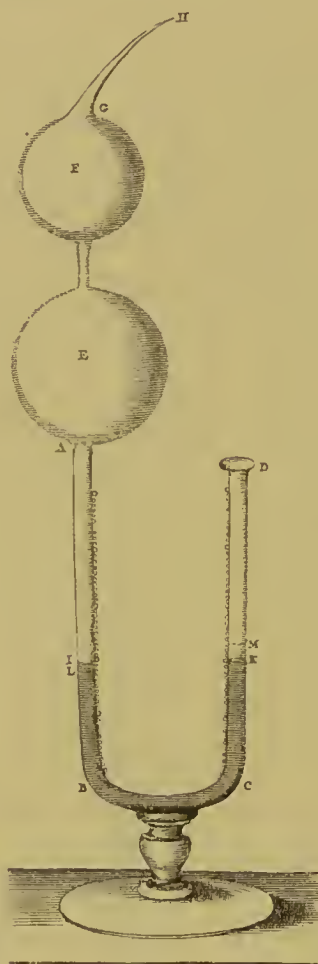


Fig. 150.

nen, dass sie bestrebt waren, diese Luft ihrer Aufgabe dienstbar zu machen.

Den ersten der Apparate, bei dem sie dieses versuchten, sehen wir in Fig. 150. Er besteht aus einem U-förmig gebogenen Glasrohre *ABCD*, welches an der einen Seite offen ist, an der anderen die beiden Kugeln *F* und *E* trägt. *F* ist mit dem in eine Spitze ausgezogenen Röhrehen *GH* versehen, welches vor der Glasbläserlampe leicht zugeschmolzen werden kann. Beide Seiten des Rohres tragen Theilungen. Statt der mit Glas-tröpfchen hergestellten benutzten freilich die Akademiker diesmal eine

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 47. 2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 49.

sorgfältig auf Pergamentstreifen verzeichnete, welche außen am Rohre angebracht war, so dass die Teilstriche auf dem Glase lagen, doch durch das Glas hindurch leicht gesehen werden konnte. Um nun eine Höhe, z. B. die eines Turmes zu messen, wurde zunächst an dessen Fuße Quecksilber in das Rohr gegossen und solange gewartet, bis sich die Temperaturen außerhalb und innerhalb des Rohres ausgeglichen hatten. Das Quecksilber steht dann in beiden Sehnenkeln des Rohres gleich hoch. Darauf wird *H* so rasch zugeschmolzen, dass die Hitze der Flamme die Temperatur im Inneren der Röhre nicht beeinflussen kann, der Apparat rasch auf die Höhe des Turmes gehoben und der Stand des Quecksilbers in den beiden Sehnenkeln abgelesen. Vorher hatte man sich überzeugt, dass die Temperatur am Fuße und auf der Spitze des Turmes die nämliche war; Beobachtungen, bei denen dies nicht stattfand, wurden verworfen. Als für solche Untersuchungen geeignet erwies sich die Zeit kurz vor Sonnenaufgang oder ein Tag, an dem der Himmel mit Wolken bedeckt war. Zu dem nämlichen Versuch war auch der in Fig. 149 dargestellte Apparat als brauchbar, wenn man anstatt *AB* ein oben offenes Rohr anwendete und das Gefäß *CD* verschloss, nachdem sich das Quecksilber in beiden gleich hoch gestellt hatte.

Nur qualitative Ergebnisse konnten die beiden Apparate geben, welche uns die Figuren 151 und 152 vorführen. Sie sind aber so eigenartig, dass es sich wohl der Mühe lohnt, auch sie in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen. Beide bestehen aus einer großen Glaskugel *A*, welche in ein sorgfältig geteiltes Glasrohr *BC* ausläuft. An dieses ist in beiden Apparaten bei *E* eine Blase luftdicht befestigt. Die Kugel *A* (Fig. 151) ist oben geschlossen und trägt bei *G* einen Knopf zum Befestigen eines Seiles, mit dessen Hilfe sie auf den Turm gezogen werden kann. Ehe die Blase bei diesem Apparat zugebunden wird, wird soviel Wasser hineingebracht als nötig ist, um sie und das Rohr *EB* zur Hälfte mit Wasser zu füllen. Darauf wird ein Gewicht an die Blase befestigt und sie unter Wasser zugebunden. Aus dem Unterschied des Standes des Wassers im Rohr am Fuße und auf der Höhe des Turmes wird auf diese geschlossen.



Fig. 151.



Fig. 152.

Bei dem Apparat (Fig. 152, S. 161) wird die Kugel und Blase mit Luft gefüllt und dann die Spitze *D* zugeschmolzen. Bei *F* ist die Blase um einen dünnen Glas- oder Kupferstab gebunden, der etwa bis zur Mitte des getheilten Rohres hereinreicht. Beim Hinaufziehen auf den Turm wird dieser Stab etwas gehoben, da sich die in der Blase befindliche Luft nun ausdehnt und die Blase dadurch etwas kugelig wird.

Die Abhängigkeit des Barometerstandes von der Temperatur oder, wenn man will, das Vorhandensein von Luft in der Barometerleere, wiesen sie noch dadurch nach¹⁾, dass sie an das kugelförmige obere Ende eines Barometerrohres eine aufgeschnittene Blase festbanden und dann heißes oder kaltes Wasser hineingossen. Im ersten Falle fiel, im zweiten stieg das Barometer. Dies Ergebnis fiel Musschenbroek²⁾ so auf, dass er den Versuch wiederholte. Er konnte die Beobachtungen der Akademiker freilich nicht bestätigen, denn sein Barometer war ungleich sorgfältiger hergestellt.

Außerdem überzeugten sich die Akademiker, dass die in der Barometerkammer fallenden Tropfen ihre Kugelform beibehielten³⁾, dass die von Linsen entworfenen Bilder daselbst keine Änderungen erleiden⁴⁾, dass die Wirkung zweier Magnete dieselbe ist, gleichviel, ob sich der eine in der Barometerkammer befindet oder nicht⁵⁾.

2. Elektrizität, Schall und Kapillarität im luftleeren Raume.

Die Schwierigkeit, in der Barometerkammer zu hantieren, sowie der Umstand, dass in ihr immer noch eine nicht unbeträchtliche Menge Luft vorhanden war, wurde Ursache, dass die Versuche der Akademiker, welche Elektrizität oder Schall im luftleeren Raum hervorzurufen bezweckten, ergebnislos verliefen, während Boyle und zum Teil Guericke die Lösung dieser Aufgabe ohne Schwierigkeit gelungen war. Gerade deshalb aber haben die Florentiner auf diese Experimente eine so große Summe von Mühe und Scharfsinn verwendet⁶⁾, dass sie für die Entwicklung der Experimentierkunst von nicht geringem Interesse sind. Fig. 153 zeigt die Vorrichtung, mit deren Hilfe sie elektrische Wirkungen erhalten wollten. Das Glasgefäß *AB* war bei *B* mit dem Barometerrohr in Verbindung. Es hatte bei *A* eine kleine Öffnung, die leicht mit einem Stück Blase zuzubinden war, sodann eine große *DE* an der Seite, durch die man die Hand oder ein geeignetes Werkzeug einführen

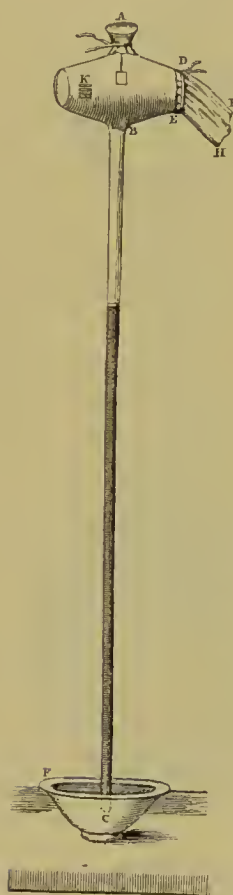


Fig. 153.

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 63.

3) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 62.

5) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 89.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 64.

4) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 66.

6) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 67.

konnte. Vor Beginn des Versuches wurde die untere Öffnung *C* des Barometerrohres mit Blase zugebunden, sodann vor die Öffnung *DE* ein auf beiden Seiten offenes Stück Blase gelegt, in welches die Hand des Experimentators, wie in einen Ärmel gesteckt werden konnte. In das Gefäß *AB* wurden dann leichte Körperchen gebracht, an seine Wand die Tuchstückchen *K* angeklebt. Der Experimentator kittete einen Ring von Wachs oberhalb des Handgelenkes um seinen Arm und ließ darüber die Blase fest schnüren, nachdem er ein Stückchen Ambra oder Bernstein in die Hand genommen hatte. War dies geschehen, so wurde der ganze Apparat mit Quecksilber gefüllt, die Öffnung bei *A* geschlossen, die Blase bei *C* unter Quecksilber durchstoßen. Das Quecksilber sank nun herab, aber es war nicht möglich, auf solche Art einen leeren Raum zu erhalten. Die Luft drang überall durch, an die Ausdünstung der Haut des Experimentators dachten die Akademiker nicht einmal, und es ergab sich, dass der Versuch so nicht angestellt werden konnte. Auch half es nicht, dass sie das Rohrende *C* nicht durch die Blase, sondern durch ein untergelegtes Polster abschlossen.



Fig. 154.

Um dennoch ihr Ziel zu erreichen, kitteten sie die Ambra oder den Bernstein bei *B* (Fig. 154) an ein mit Handgriff versehenes Holzstäbchen, um welches sie ein Stück Blase, wie einen Kragen, gebunden hatten, dessen anderes Ende sie um den Ansatz *A* des kugelförmig erweiterten oberen Teiles des Barometerrohres (Fig. 155) befestigten. Bei *B* hatten sie in die Kugel ein Tuchstückchen geklebt, außerdem einige leichte Körperchen heringebracht. Sie füllten nun das Rohr mit Quecksilber und stellten in gewohnter Weise die Luftleere her. So kräftig sie nun aber auch das Tuch mit dem Stückchen Bernstein *B* rieben, so konnten sie nicht die geringste Elektrizitätsentwicklung, welche sich durch die Anziehung jener Körperchen hätte bemerkbar machen müssen, beobachten, wohl weil, wie sie meinten, das Quecksilber einige »Fäces« in dem Tuche zurückgelassen und es so zur Elektrizitätserzeugung unbrauchbar gemacht hatte. Es ergab sich auch kein besseres Resultat, als sie das Tuch durch ein mit Siegellack an der inneren Wand der Kugel befestigtes Stückchen Ziegenfell ersetzten.

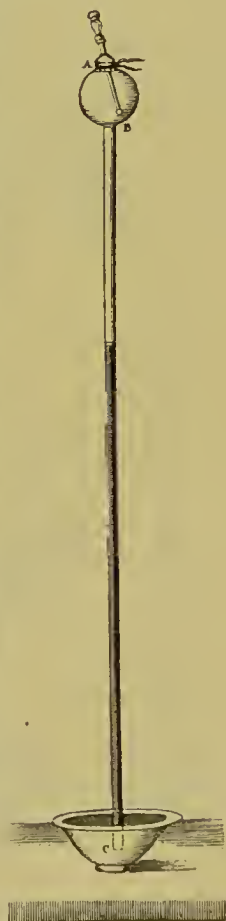


Fig. 155.

Auch die Versuche, das Verhalten des Schalles im luftleeren Raume zu studieren, verliefen ergebnislos. Die Akademiker hingen in das in Fig. 141 (S. 156) dargestellte Barometer anstatt der Laimblase eine kleine Schelle, fanden aber, als sie es schüttelten, dass die Schelle ebenso tönte, wie in der Luft. »Bei diesem

Versuche«, meinten sie¹⁾, »wäre es wünschenswert gewesen, dass das tönende Instrument (was nicht erreicht werden konnte) mit dem Gefäße in keiner Weise in Berührung käme, da man ohne dies nicht sicher sein konnte, ob der Ton von der höchst verdünnten Luft oder vielleicht von Ausdünstungen des Quecksilbers in den leeren Raum, oder aber von den Tönen der Sehläge an das Metall, welche auf das Gefäß durch den Faden übertragen wurden und welche demnach die äußere Luft durch unvermittelten Übergang erhielt, übertragen wurde.«

Um diese Schwierigkeiten zu heben, glaubten sie deshalb den Versuch mit einem pneumatischen Instrumente anstellen zu müssen, bei dem der Ton durch die austretende Luft selbst erregt würde, also am besten mit einer Orgelpfeife. Eine solche wurde mit dem Blasebalg *AL* (Fig. 156)

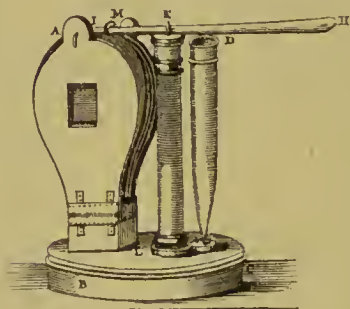


Fig. 156.

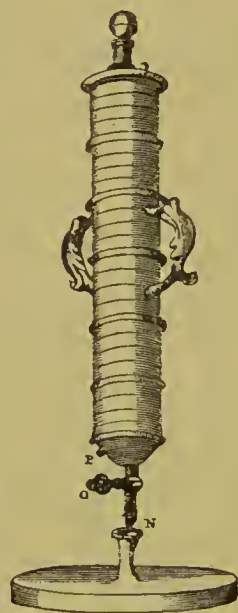


Fig. 157.

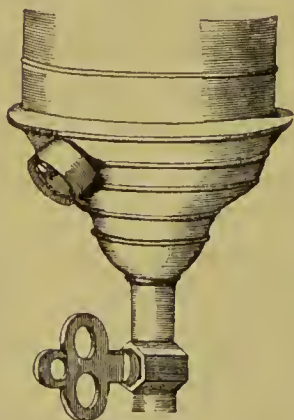


Fig. 158.

und der Säule *K* auf die Unterlage *BC* aufgestellt, so dass sie durch den Hohlraum in deren Innerem mit dem ersten in Verbindung stand.

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 86.

Durch die eiserne Stange JH , welche an K drehbar befestigt durch den am Blasebalg angebrachten Ring M gesteckt war, konnte dieser in Betrieb gesetzt werden. Der ganze Apparat kam dann in den Behälter F (Fig. 157), auf dessen luftdicht aufgesetzten Deckel die Luftpumpe bei N aufgeschraubt werden konnte. Ihren unteren Teil zeigt in vergrößertem Maßstabe Fig. 158. Die Akademiker müssen aber gestehen, dass kein Unterschied gehört werden konnte, mochte nun die Orgelpfeife im Behälter F , oder in der freien, wie sie sagen, natürlichen Luft in Betrieb gesetzt worden sein. »Daraus folge (sagten einige gleichsam seherzend), entweder, dass die Luft nichts zum Tone beitrage, oder ihn in jeder Verfassung gleichmäßig hervorrufe¹⁾.«

Über die Einrichtung des Ventils P der Luftpumpe teilen die Akademiker leider nichts mit. Es ersetzt den Stift Guerikes und dürfte wohl aus einem Stück Leder oder Blase, welches auf zwei Seiten befestigt wurde, hergestellt sein. Solche Ventile wendete wenigstens Papin später bei seiner Ventilluftpumpe an.

Auch das Bestreben der Akademiker, mittels zweier übereinander in der Barometerkammer angebrachter Thermometer »die Bewegung der unsichtbaren Exhalationen des Feuers im luftleeren Raume« zu beobachten, führte zu keinem Ergebnis. Sie fanden nur, dass noch Luft in der Kammer war, die es erklärte, dass das obere um zwei ihrer Thermometergrade höher stand, wie das untere, während in der luftgefüllten Barometerkammer dieser Unterschied allerdings fünf Grade betrug²⁾.

Die Steighöhe der Flüssigkeit in kapillaren Röhren ergab in der Barometerkammer den nämlichen Wert, wie in freier Luft. Von den verschiedenen Versuchen, die sie zur Entscheidung dieser Frage anstellten, sei nur der erwähnt, dessen Anordnung sich aus Fig. 159 erkennen lässt. Das in eine lange Röhre AE ausgehende Gefäß EHC hatte an der Seite eine Öffnung F , an deren Metallfassung die Luftpumpe angesetzt werden konnte. Ehe dies aber geschah, wurde es auf der Seite liegend mit rotem Weine gefüllt, dabei aber vermieden, dass der Wein an die Öffnung D des in AE hereinreichenden kapillaren Rohres AD gelangte. Die Öffnung des Rohres AE bei A wurde mit Blase verschlossen und das Gefäß, während es in seiner liegenden Stellung verblieb, ausgepumpt, dann aber aufgerichtet. Der Wein stellte sich nun bis BC und stieg im kapillaren Rohre empor, aber nicht höher, wie im luftgefüllten Raume auch³⁾.

Das Sieden kalten Wassers, welches die Akademiker im luftleeren Raume, ebenso wie auch das Schmelzen des Schnees, beobachteten, führte sie ebensowenig wie Boyle zu der Erkenntnis, dass



Fig. 159.

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 88.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 72.

3) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 90.

hieran der aufsteigende Wasserdampf Schuld sei. Das Schmelzen des Schnees schrieben sie nicht dem Vakuum, sondern mit Recht dem Quecksilber zu, über dessen Temperatur sie indessen keine Mitteilung machen¹⁾.

3. Thermometer, Hygrometer und Zeitmesser.

Wie es die Natur der Sache mit sich brachte, sind die Arbeiten, welche die Akademiker zur Messung der Temperatur und der Feuchtigkeit der Luft ausführten, viel weniger zahlreich, wie die im vorigen Abschnitte dargelegten, die die Kenntnis des leeren Raumes fördern sollten. Als sie anfangen, sich mit der Konstruktion der Thermometer zu beschäftigen, war der wichtige Fortschritt, eine Flüssigkeit an Stelle der Luft als thermometrische Substanz zu nehmen und so Galileis Thermometer durch ein handlicheres zu ersetzen, bereits gethan. Als erster scheint der französische Arzt Jean Rey²⁾ (gest. 1645) 1631 die Ausdehnung des Wassers zur Temperaturbestimmung verwendet zu haben. Er beschrieb sein Instrument dem Pater Mersenne als eine Hohlkugel mit daran befindlichem langen Halse, die zum Teil mit Wasser gefüllt war. Ob der Hals oben geschlossen oder offen war, darüber sagt er nichts. Demgegenüber schrieben die Italiener, namentlich Viviani und Urbano Daviso (geb. 1611) dem Großherzog Ferdinand II. von Toscana die erste Anwendung einer Flüssigkeit als thermometrische Substanz zu, und 1654 befanden sich solche Instrumente in des Großherzogs Besitz. Es ist wohl möglich, dass er selbständig auf die



Fig. 160.

Idee gekommen ist, wenn auch nicht wahrscheinlich, wir wissen indessen nicht, ob er Reys Thermometer gekannt hat. Doch war sein Thermometer oben geschlossen. Die Saggi bilden vier Formen des Instrumentes ab, von denen zwei, deren eines in Fig. 160 dargestellt ist, mit den jetzt noch gebräuchlichen übereinkommen, sie unterschieden sich voneinander nur durch ihre Länge. Man verfolgt mit Interesse die Art, wie solche Instrumente verfertigt wurden. »Das Thermometer«, lassen sich die Saggi vernehmen³⁾, »ist aus bestem Glas durch Künstler hergestellt, welche die Luft aus dem Munde wie aus einem Blasebalge ausblasen und durch ein Glasrohr gegen die Lampenflamme bewegen, welche sie entweder unversehrt oder in Abschnitte geteilt, wie es in jedem Falle verlangt wird, durch das Einblasen auftreiben und so bewunderungswürdige und sehr dünne Gegenstände aus dem Glase formen. Einen solchen Künstler nennen wir

Bläser. Seine Sache ist es, die Kugel des Instrumentes von solcher Kapazität und Größe herzustellen und ihr eine Röhre von soleher Weite anzufügen,

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 94 und 95.

2) Burekhardt, a. a. O. S. 37.

3) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 2.

dass, nachdem Weingeist bis zu einem gewissen, an seinem Rohre angebrachten Zeichen hineingegeben ist, die einfache Kälte des Schnees und Eises ihn nicht unter zwanzig auf der Röhre bezeichnete Grade zusammenziehe; und andererseits die größte Kraft der Sonnenstrahlen mitten im Sommer ihn nicht über achtzig Grade ausdehnen könne. Die Art, das Instrument zu füllen, ist die folgende: Die Kugel wird über Feuer erhitzt und darauf plötzlich das offene Ende der Röhre in Weingeist getaucht, welcher langsam hineinsteigt. Weil es aber schwer, wenn nicht unmöglich ist, durch Ausdehnung die Luft auszutreiben, und da die Kugel, wenn auch nur etwas Luft darin bleibt, nicht gefüllt werden kann, so muss man das letzte Nachfüllen mittels eines Trichters besorgen, welcher einen ganz dünn ausgezogenen Hals besitzt. Dieser kann am besten erhalten werden, wenn man Glas im Feuer glühend macht; denn dann kann man es in ganz dünne Fäden ausziehen, welche im Innern einen offenen Kanal haben, wie jeder weiß, der die Kunst der Glasbearbeitung kennt. Mit Hilfe dieses Trichters kann das Thermometer daher gänzlich gefüllt werden, indem man den Trichterhals in das Thermometerrohr einführt und die Flüssigkeit durch die Gewalt des Blasens hineintreibt, oder sie wieder zurücksaugt, wenn zuviel eingedrungen ist. Indessen ist zu bemerken, dass die Thermometergrade sehr sorgfältig aufgetragen werden müssen; ebenso ist es notwendig, das ganze Rohr mit dem Zirkel genau in zehn gleiche Teile zu teilen und jeden Teilstrich nachher durch eingebrannte weiße Glasperlen zu bezeichnen. Dann werden die anderen Grade dazwischen mit schwarzen eingebrannten Perlen bezeichnet, diese letzte Teilung aber kann nach dem Augenmaße geschehen, weil Übung, Sorgfalt und Aufmerksamkeit die gleichen Abstände sichern und eine gute Teilung verbürgen, so dass jemand, der Übung hat, kaum irren wird. Ist dies vollendet und mit Hilfe des Versuches mit der Sonne und dem Eise die notwendige Menge Weingeist genau bestimmt, wird die Öffnung des Rohres mit der Lampenflamme hermetisch, wie man es gewöhnlich nennt, geschlossen, und das Thermometer ist fertig«.

Den Weingeist zogen die Akademiker dem Wasser vor, weil er beweglicher sei, die kleinsten Veränderungen der Temperatur angebe und die Wärme rascher in sich aufnehme. Auch setze das Wasser mit der Zeit Unreinigkeiten ab. Sie färbten den Weingeist mit Kermes oder Drachenblut, kamen aber davon zurück, weil der Farbstoff das Glas beschmutzte. Diese Thermometer verdrängten nach und nach die Luftthermometer. In England führte sie um 1730 Robert Southwell ein¹⁾.

Wie bereits erwähnt, unterschieden sich die gebräuchlichen Thermometer nur durch ihre Länge. Das längere war in 100, das kürzere in 50 Grade geteilt. Jenes zeigte bei der größten Winterkälte in Florenz 17 oder 16, dieses gewöhnlich 12 oder 11 Grade, ihre Angaben in der Sonne waren

1) Halley, Philosophical Transactions No. 269. S. 791.

80 und 40 Grade. An einer anderen Stelle¹⁾ geben die Akademiker an, dass das in 50 Grade geteilte Thermometer, wenn sie es in klein gestoßenes Eis stellten, bei etwa $13\frac{1}{2}$ Grad zur Ruhe kam, und diese Angabe hat sich bei den 1829 von Antinori gefundenen Thermometern, die von den Akademikern verfertigt waren, als richtig erwiesen²⁾. Welche Verhältnisse zwischen Kugel und Rohr bei beiden einzuhalten waren, hatte die praktische Erfahrung gelehrt.

Schwieriger war ein drittes Thermometer zu verfertigen, welches 300 Grade besaß und an dessen Gefäß ein Fuß, wie der eines Weinglases, angebracht war. Der Glaskünstler des Großherzogs pflegte zu sagen, dass er drei und mehr übereinstimmende Thermometer von 50 Graden herzustellen sich anheischig mache, aber nicht solche von 100 und noch viel weniger solche von 300 Graden. Ein solches war das in Fig. 161 vorgeführte, welches wohl nur einmal hergestellt worden ist. Dank der großen

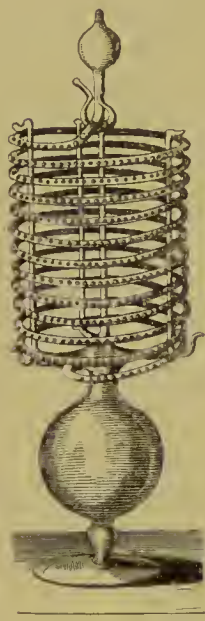


Fig. 161.

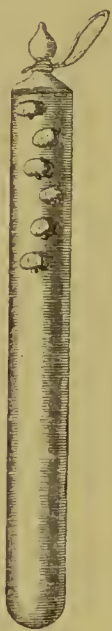


Fig. 162.

Engigkeit seines Rohres im Verhältnis zur Weite seines Gefäßes übertraf es alle anderen Thermometer der Akademie an Empfindlichkeit. Bei der Länge, die das Rohr erhalten musste, war nicht daran zu denken gewesen, es gerade ausgestreckt zu lassen; es hatte zu einer Schraubenlinie zusammengebogen werden müssen, die durch gläserne, in Haken endende Stützen gehalten wurden. Von der Schönheit seiner Arbeit kann man sich auch jetzt noch überzeugen, da es noch in Florenz vorhanden ist³⁾, und man wird bei so fortgeschrittener Kunst der Bearbeitung des Glases es wohl für möglich halten, dass auch der in Fig. 110, S. 116, hergestellte Apparat echt ist.

Weitaus geringere Empfindlichkeit und Genauigkeit dagegen schrieben die Akademiker mit Recht dem Instrumente zu, welches Fig. 162 vor Augen führt. Bereits im Jahre 1646 sah es Moneonys⁴⁾ beim Großherzog Ferdinand II. Es bestand aus einem weiten, fast ganz mit Weingeist gefülltem, hermetisch geschlossenem Rohre, in welchem eine Anzahl zugeblasener, mit Luft gefüllter Glaskugeln von verschiedenem spezifischen Gewichte schwebten, so dass bei verschiedenen Wärmegraden einige dieser Kugeln von der Oberfläche hinabsanken. Bei folgender Abkühlung stiegen sie

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 129.

2) Libri, Annales de Chimie et de Physique. XLV. S. 354.

3) Gerland in Hofmanns Bericht. I. S. 70.

4) Monconys, Journ. des voyages I. S. 130 ff. — Burckhardt, a. a. O. S. 34 ff.

wieder empor. Das richtige Gewicht erhielten sie durch Abschleifen des unteren zugeblasenen dickeren Endes mit feinem Smirgel auf einer Bleiplatte¹⁾. Auch mit Kugeln, die unten mit einer kurzen offenen Röhre versehen waren, gelang der Versuch, der in solcher Form das Florentiner Experiment hieß. Reisel (1625 — 1702) kehrte es um, indem er zeigte, dass im offenen Gefäße solche Kugeln mit Röhren bei steigender Temperatur eine nach der anderen nach Maßgabe ihres Gewichtes emporstiegen und man nannte den neuen Versuch nunmehr den Stuttgarter. Für die Wissenschaft ist dieser Versuch, obwohl er noch in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wieder hervorgeholt wurde, bedeutungslos geblieben. Man benutzte ihn, um Laien in Verwunderung zu setzen und gab deshalb dem äußeren Gefäße auch wohl die Form eines Tieres, eines Frosches oder einer Schildkröte, wie dies der in Fig. 163 abgebildete, in Florenz noch vorhandene Apparat zeigt, den man übrigens zur Untersuchung der Temperatur von Fieberkranken benutzen wollte.

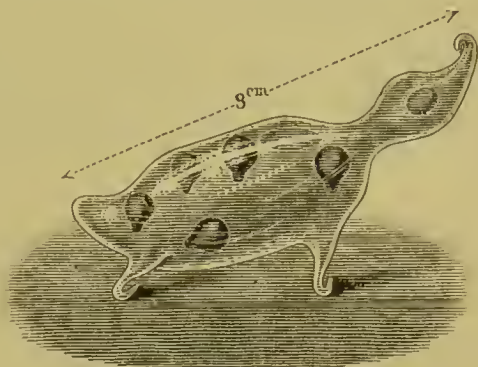


Fig. 163.

Den Apparat zur Beobachtung der Luftfeuchtigkeit, dessen Angabe die Akademiker wie die Erfindung des Flüssigkeitsthermometers ebenfalls dem Großherzog Ferdinand II. zuschrieben, zeigt Fig. 164. »Er besteht«, so schildern ihn die Saggi¹⁾, »aus einem aus Kork verfertigten Hohlkegel, welcher innen mit Pech ausgestrichen, außen mit verzinnem Eisenbleche bekleidet ist. An seinem schmälern Ende ist er von einer Art Glaslampe umgeben, die in einen genügend spitzen, unten geschlossenen Kegel ausläuft. Der obere Teil des so hergestellten und auf einem Untersatze befestigten Instrumentes wird nun mit Schnee oder fein gestoßenem Eise gefüllt, dessen Schmelzwasser aus der in der Figur sichtbaren, am oberen Teile des Glases angebrachten Röhre abläuft. Die geringste Menge Feuchtigkeit, welche in der Luft enthalten ist, wird nun nach und nach auf dem kalten Glase niedergeschlagen, zunächst als dünner Überzug, der durch neu hinzukommende Flüssigkeit zu Tropfen zusammenfließt, an dem ab-

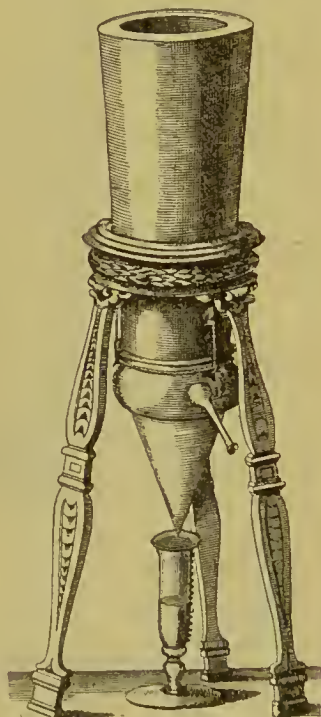


Fig. 164.

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 14.

schüssigen Glase langsam herabrinnt und abtropft. Das vom Instrumente ablaufende Wasser fängt ein hoher cylindrischer, mit Teilung versehener Becher auf«. Auch zählten wohl die Akademiker die in einer bestimmten Zeit herabfallenden Tropfen. Sie waren sich darüber klar, dass diese Zahl von Nebenumständen beeinflusst wird, erhielten aber damit qualitativ brauchbare Resultate.

Als Zeitmesser benutzten sie selbstverständlicher Weise das Pendel, jedoch nicht ohne vorher einige wichtige Verbesserungen daran anzubringen. Sie hatten beobachtet, dass ein an einem Faden hängendes Pendel nach

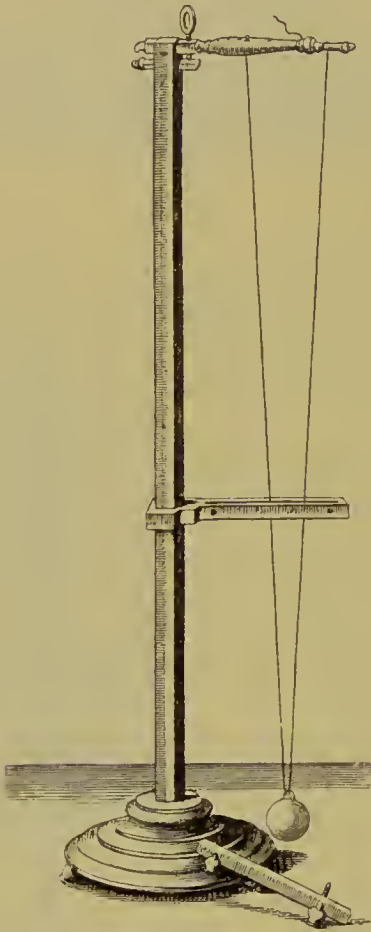


Fig. 165.

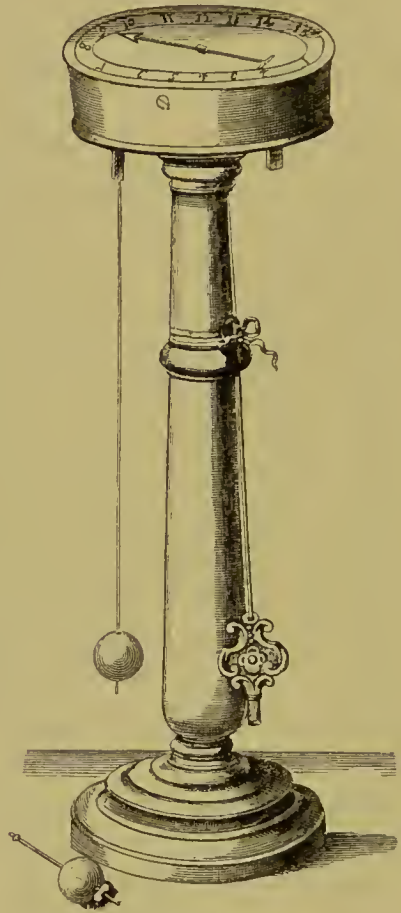


Fig. 166.

und nach von seiner ursprünglichen Bahn abwich und elliptische Schwingungen auszuführen begann, welche schwer auseinander zu halten und somit zu zählen waren. Fig. 165 zeigt, dass sie sich dagegen in der nämlichen Weise sicherten, wie man es auch jetzt noch thut, sie wendeten eine bifilare Aufhängung an. Auch hatten sie einen Schieber angebracht mit einem Schlitz, durch welchen die Pendelfäden gingen. Mit seiner Hilfe war es leicht, dem Pendel jede beliebige Länge zu geben.

Um kleinere Zeittheile zu messen, benutzten sie die Uhr, welche, »als erster von allen, Galilei erfand und welche 1649 dessen Sohn Vineentins

Galilei zur Ausführung brachte¹⁾. In ihr war das Pendel durch die Kraft eines Rades (rotae, Feder?) oder eines Gewichtes gezwungen, immer von derselben Höhe herabzufallen und so genau isochrone Schwingungen auszuführen. Um Zeiten von verschiedener Länge beobachten zu können, wandten sie verschieden lange Pendel an, von denen die kürzesten eine volle Schwingung (einen Hin- und Hergang) in einer halben Sekunde ausführten. Die Abhängigkeit der Schwingungszeit von der Amplitude hatte nach ihrem Zeugnis bereits Galilei beobachtet und sie hatten deshalb die obige Regel gegeben. »Hier ist zu bemerken«, so teilen sie ihre Entdeckung mit²⁾, »dass die Erfahrung gezeigt habe (wie auch von Galilei beobachtet ist, nach der Beobachtung, die er um das Jahr 1583 über deren sehr nahe Gleichheit machte), dass alle Pendelschwingungen nicht genau in den nämlichen, unter sich gleichen Zeiten vollführt werden, denn je mehr sie nach der Ruhelage streben in desto kürzerer Zeit führen sie sie aus«. Die Einrichtung der Uhr, welche Fig. 166 darstellt, teilen sie nicht mit; die treibende Kraft scheint eine gespannte Feder, der Hebel links mit Griff zum Aufziehen bestimmt gewesen zu sein. Vielleicht konnte man das lange Pendel mit dem daneben liegenden kürzeren vertauschen und so verschiedene Zeiteinheiten zählen lassen.

4. Ausdehnung durch die Wärme, Zusammendrückbarkeit des Wassers.

Bei ihren vielfachen Untersuchungen hatten die Akademiker so oft das Wasser frieren lassen oder erwärmen müssen, dass ihnen notwendig die Eigentümlichkeiten, welche es bei diesen Vorgängen zeigt, aufgefallen waren. Sie stellten sich nunmehr auch die Aufgabe, diese Erscheinungen genauer zu erforschen und suchten sie auf das umsichtigste, indem sie sie nach allen Richtungen hin verfolgten, zu lösen.

Zunächst bestrebten sie sich über die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren klar zu werden. Sie ließen es in Gefäßen, welche aus den verschiedensten Stoffen bestanden, erstarren und fanden, dass sie ohne Ausnahme gesprengt wurden, wenn sie ganz mit Wasser gefüllt waren. Die Kraft, mit der dies geschah, vermochten sie allerdings nicht zu messen. Als sie dann die Ausdehnung von reinem Wasser und von Lösungen organischer Körper in einer großen Kugel mit engem Rohre untersuchten, wie sie Fig. 167 darstellt, bemerkten sie, dass die Flüssigkeit in dem engen Rohre, wenn das Gefäß in eine kalte Flüssigkeit getaucht wurde, zunächst ein



Fig. 167.

1) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 20.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. I. S. 20.

wenig stieg, um dann erst zu fallen, eine Thatsache, die sie den Sprung beim Eintauchen, den »Saltus immersionis« nannten ¹⁾. Den umgekehrten Vorgang sahen sie beim Erwärmen des Apparates eintreten. Sie schlossen aus beiden Beobachtungen mit Recht, dass die Zusammenziehung und Ausdehnung der Glaskugel die Ursache der überraschenden Erscheinung sein müsse und fanden ihre Annahme durch eine Reihe von Versuchen in der That bestätigt. Brachten sie, wie beim »Florentiner Versuch« hermetisch geschlossene Glaskügelchen von nahe demselben spezifischen Gewichte wie Wasser in die Glaskugel, so verhielten sich diese wie das Wasser. Sie stiegen beim Abkühlen erst empor und sanken dann erst herab, führten beim Erwärmen die umgekehrten Bewegungen aus, während die Flüssigkeit den Sprung beim Eintauchen beobachten ließ.

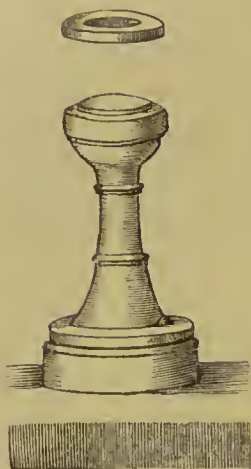


Fig. 168 und 169.

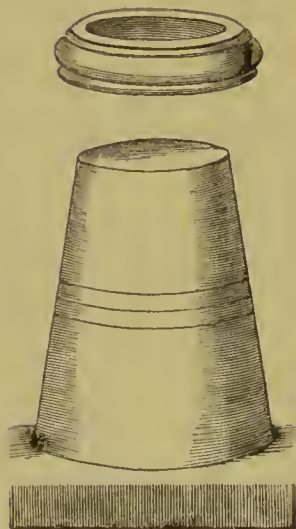


Fig. 170 und 171.

Solehe Beobachtungen führten die Akademiker auf die Untersuchung der Ausdehnung verschieden geformter fester Körper durch die Wärme. Die Ausdehnung eines metallischen, innen kegelförmig ausgearbeiteten Ringes, Fig. 168, der bei etwas erhöhter Temperatur auf die ebenso geformte Erhöhung des Ständers, Fig. 169, passte, wiesen sie nach, indem sie den Ring erhitzen und um die kegelförmige Erhöhung auf dem Ständer legten. Er ließ sich um sie bequem hin- und herschieben, setzte sich aber beim Abkühlen so fest auf, dass er zuletzt nur mit der größten Anstrengung abgenommen werden konnte ²⁾.

Dass sie freilich über den eigentlichen Vorgang keineswegs klar waren, bewies der Versuch, den sie im Anschluss an den besprochenen anstellten. Sie schoben auf einen metallischen kegelförmigen, glatt abgearbeiteten Körper, Fig. 170, einen Ring von Buxbaumholz, Fig. 171, der innen ebenfalls sorgfältig geglättet und poliert war und bemerkten, bis zu welchem der auf dem Metallkegel in gleichem Abstände eingerissenen Ringe der Holzring herabzuschieben war. Darauf legten sie den Ring einige Tage in Wasser und fanden, dass er nun weiter herabging. Dies Ergebnis erhielten sie aber nur dann, wenn der Ring senkrecht zu den Fasern aus dem Holze gedreht war, hatte man ihn parallel zu ihnen herausgearbeitet,

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 3.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 4ff.

so wurde er elliptisch und ließ sich dann weniger tief auf den Metallkegel herabschieben¹⁾. Es scheint also, als hätten sie die Ausdehnung durch die Wärme und das Quellen des Holzes durch das Wasser für zusammengehörige Vorgänge angesehen.

Die Ausdehnung eines hohlen ringförmigen Rohres studierten sie mit Hilfe des Apparates, den Fig. 172 darstellt. Um beim Eingießen des warmen oder kalten Wassers, welches dem Rohre seine Temperatur erteilen sollte, der Luft Austritt zu verschaffen, war das Rohr an den Enden eines Durchmessers mit Trichtern versehen. Ein Kreuz aus zwei Messruten von der Länge des Durchmessers, ließ die Ausdehnung durch Einfüllen von heißem und die Zusammenziehung durch kaltes Wasser, ja durch eine Salzlösung, welche unter den Schmelzpunkt des Eises abgekühlt war, beobachten²⁾.



Fig. 172.

Eine Reihe weiterer Versuche sollte über die Ausdehnung von Metallen Klarheit schaffen. Diesem Zwecke diente der Apparat Fig. 173. Eine dünne Zinnplatte wurde im Halbkreise zusammengebogen und die Entfernung der Spitzen vor und nach ihrer Erhitzung auf einem Kohlenfeuer bestimmt. Nahmen sie statt des Zinnbogens einen solchen von Glas,

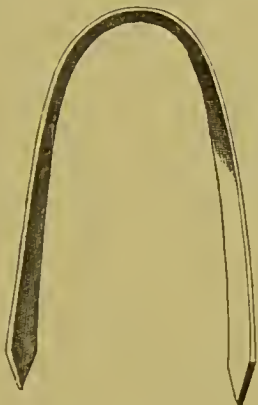


Fig. 173.

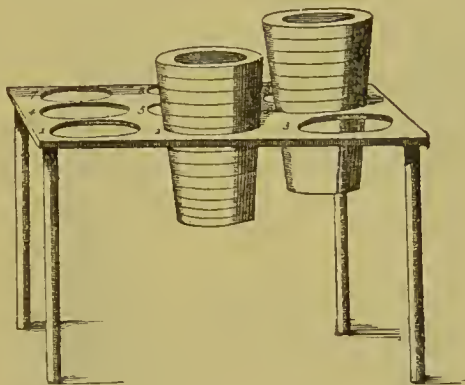


Fig. 174.

zwischen dessen Arme eine Saite so gespannt war, dass sie einen bestimmten Ton gab, so erniedrigte ein Erhitzen der Mitte den Ton, während ein Abkühlen derselben Stelle ihn höher werden ließ. Hingen sie an der Mitte der Saite eine Bleikugel so auf, dass sie die horizontal gelegte Oberfläche eines Spiegels kaum berührte, so sahen sie bei derselben Art der Erhitzung und Abkühlung die Kugel im ersten Falle sinken, im zweiten steigen. Ebenso verlängerte sich ein mit einer Bleikugel beschwerter Draht beim Erwärmen, sanken kegelförmige Metallkörper, Fig. 174, die vor dem

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 7.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 8ff.

Erwärmen bis zu einem bestimmten, der auf ihrem Mantel in gleichen Abständen gezogenen Kreise in die kreisförmige Öffnung einer Metallplatte hereingegangen waren, weniger tief ein¹⁾).

Bei allen diesen Versuchen betrachteten die Akademiker die Wärme als ein etwas, was die Körper durchdringe, ohne sich weiter über ihr Wesen auszusprechen. Doeh mag die Annahme, dass die Wärme ein Stoff sei, wohl die ihren Anschauungen zu grunde liegende gewesen sein.

Die genaue Kenntniss der Ausdehnung des Glases benutzten die Akademiker, um die Zusammendrückbarkeit des Wassers zu untersuchen.

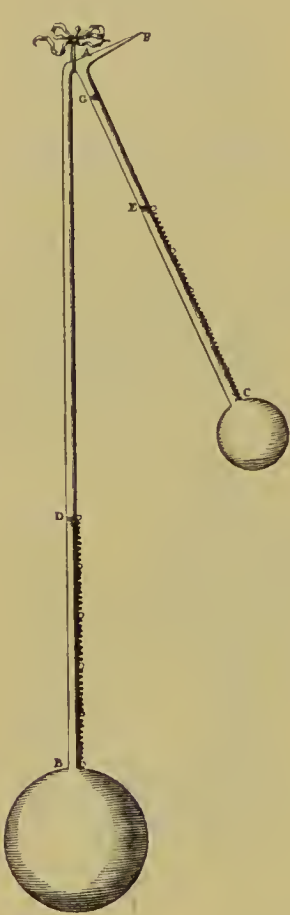


Fig. 175.



Fig. 176.

Wenn diese Versuche auch ergebnislos verliefen, so lag dies nicht an den Experimentatoren, die ebenso scharfsinnig, wie umsichtig verfahren, sondern an der Kleinheit des zu beobachtenden Wertes, für welche ihre Apparate nicht ausreichten. Die Versuche selbst haben aber auch jetzt noch großes Interesse. Auf dreierlei Weise suchten sie ihre Aufgabe zu lösen²⁾. Sie füllten die große Kugel *B* (Fig. 175) und die kleinere *C*, die in geteilte Rohre ausliefen, bis *D* und *E* mit Wasser und schmolzen sie dann bei *A* so zusammen, dass die getheilten Rohre miteinander und durch das zur Spitze ausgezogene Rohr *AF* mit der äußeren Luft in Verbindung standen. Alsdann umgaben sie den ganzen Apparat mit Eis und verschlossen die Öffnung bei *F* mittels der Stiehflamme. Indem sie nun das Wasser in der

Kugel *B* langsam bis zum Sieden erwärmten, während das in *C* auf der Temperatur des schmelzenden Eises blieb, sahen sie das Wasser aus *B* in *AB* emporsteigen und endlich die Luft bis *G* in *AC* zurückdrängen, konnten aber trotzdem nicht die geringste Volumenverminderung des Wassers in *EC* beobachten. Es behielt seine Stellung bei *E* unverrückt bei, bis der Boden der Kugel *C* zerbrach. Als sie dann die Glaskugeln *B* und *C* durch Kugeln aus Kupfer ersetzten, so hielten diese den Druck zwar aus, dafür zerbrach aber nun das

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 8 ff.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 59 ff.

Glasrohr EC , das sie unmöglich durch ein Rohr mit undurchsichtigen Wänden ersetzen konnten.

Nachdem dieser Versuch missglückt war, versuchten die Akademiker durch Anwendung von Quecksilberdruck weiter zu kommen. Der in Fig. 176 dargestellte Apparat zeigt, wie sie damit zu verfahren gedachten. In das mit der ausgezogenen Spitze H und auf beiden Seiten mit Teilungen versehene cylindrische Gefäß AB wurde mittels einer Bleidichtung das Glasrohr EF eingesetzt und darauf, während H noch offen war, das Gefäß bis etwas unter CD mit Wasser gefüllt. Durch den Trichter E wurde nun Quecksilber zugegossen, bis das Wasser bis A und endlich bis H gestiegen war, dann H zugeblasen. Wurde nun in EF weiter Quecksilber eingegossen, so musste sein Spiegel bei IK steigen, wenn sich das Wasser zusammendrücken ließ. Trotz der größten Aufmerksamkeit konnten aber die Akademiker nicht die geringste Änderung des Quecksilberspiegels beobachten, obwohl sie 20 Pfund Quecksilber in die 4 Cubiten (über 7' rheinl.) lange Röhre gossen.

Das Misslingen dieser beiden Versuche ließ sie nach kräftigeren Mitteln sich umsehen, welche das Wasser zusammendrücken könnten. Sie stellten also den berühmten Versuch an, bei dem sie eine mit Schraubenverschluss versehene Kugel aus Silberblech, die Fig. 177 zeigt, mit Wasser füllten, auf die Schmelztemperatur des Eises brachten und fest verschraubten. Als sie dann von allen Seiten leicht mit dem Hammer darauf schlugen, so dass die Kugel voller Beulen wurde, drang das Wasser in kleinen Tröpfchen durch das Silber hindurch und so schien auch dieser Versuch eher gegen als für die Annahme zu sprechen, dass das Wasser zusammengedrückt werden könne.

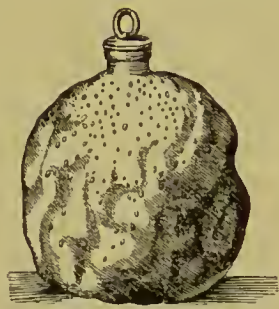


Fig. 177.

Dass sie trotzdem keinen der beiden möglichen Schlüsse zogen, sondern die Frage für eine noch offene erklärten, lässt die Vorsicht, mit der sie arbeiteten, in vorteilhaftestem Lichte erscheinen. »Sicher ist«, so beschließen sie den Bericht über ihre Versuche¹⁾, »dass das Wasser im Vergleich zur Luft einem unendlichmal größerem Drucke widerstehe (wenn man so sagen darf), was also das bestätigt, was wir anfänglich sagten. Wenn freilich auch die experimentelle Forschung nicht immer zur äußersten Wahrheit, welche wir suchen, hinführt, so giebt sie in jedem günstigen oder ungünstigen Falle etwas Licht, sei dies auch noch so wenig.«

5. Schwere, Magnetismus, Geschwindigkeit des Schalles.

In ähnlicher Weise führten auch die Versuche der Akademiker, über die wir noch zu berichten haben, mit Ausnahme der zur Messung der

¹⁾ v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 64.

Geschwindigkeit des Schalles angestellten, zu ungenügenden Resultaten. So suchten sie den schon im Altertum entbrannten Streit zu entscheiden, ob die Körper, welche man »leichte« nennt, dies ihrer Natur nach sind, oder ob sie gehoben werden, indem die schweren Körper ihrer Umgebung nach unten drängen¹⁾. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass das, was die leichten Körper hebt, etwas anderes als die Leichtigkeit ist.

Darauf, dass ihre magnetischen Versuche²⁾ viel Neues brächten, haben sie selbst keinen Anspruch gemacht. Doch zeigten sie, dass außer Eisen und Stahl kein fester oder flüssiger Körper, welcher zwischen das Eisen und den Magnet gebracht wurde, des letzteren Wirkung ändert. Um zu zeigen, dass der Durchgang durch eine Flüssigkeit die magnetische Kraft nicht verändere, bedienten sie sich bereits der Ablenkung einer Bussolennadel durch einen seitlich in senkrechter Richtung zur Achse der Nadel aufgestellten Magneten. In ähnlicher Weise suchten sie übrigens die anziehende Wirkung eines geriebenen Stückes Bernstein auf andere Körper festzustellen³⁾.

Um die Geschwindigkeit des Schalles zu bestimmen, wiederholten sie die Versuche darüber, wie sie bereits Gassendi (1592—1655) angestellt hatte, in etwas erweiterter Form. Sie fanden den gleichen Wert wie ihr Vorgänger, nämlich 1077' par. und bestätigten, dass die Geschwindigkeit des Schalles eine konstante Größe sei und benutzt werden könne, um Entfernungen zu messen⁴⁾. Ebenso wenig wie diese erforderten die Versuche über Geschosse⁵⁾, über die Geschwindigkeit des Lichtes⁶⁾ und über Brennspiegel besondere experimentelle Vorrichtungen. Hinsichtlich der Versuche, die die von Galilei bereits aufgeworfene Frage, ob das Licht Zeit braucht, um sich auszubreiten oder nicht, beantworten sollten, sei nur noch die Art erwähnt, wie sie experimentierten. Im Abstände von einer Meile waren zwei Beobachter aufgestellt, neben Lichtquellen, die auf beiden Stationen gut sichtbar waren. Bedeckte nun der eine Beobachter sein Licht, so war der andere angewiesen, dasselbe zu thun, sobald er das Verschwinden des Lichtes bemerkte. In demselben Augenblick verschwanden also beide Lichter und der mit dem Versuche beginnende Beobachter

1) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 69.

2) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 74.

3) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 81.

4) Die gleichzeitigen oder wenig späteren Angaben über die Geschwindigkeit des Schalles hat Derham in Philos. Transact. No. 313. 1708. S. 2 zusammengestellt. Sie sind bestimmt worden von den Florentinern zu 1142' engl (349,9 m), von Roberts zu 1300' (396,3 m), Boyle zu 1200' (365,7 m), Walker zu 1338' (407,9 m), Mersenne zu 1474' (449,2 m), von französischen Gelehrten zu 1172' (357,2 m), von Flamsted und Halley zu 1142' (348,1 m), während sie Newton in seinen Philosophiae naturalis Principiis mathematicis auf theoretischem Wege zu 968' (292,8 m) berechnet hatte. Auf 0° sind diese Werte selbstverständlich nicht reduziert.

5) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 115.

6) v. Musschenbroek, a. a. O. II. S. 183.

hätte somit die Zeit beobachten können, welche das Licht gebraucht hatte, um zwei Meilen zu durchlaufen. In Wirklichkeit freilich konnte er es nicht. Die Geschwindigkeit des Lichtes hätte um viele tausend Meilen kleiner sein können, als sie wirklich ist, ohne dass bei der angewendeten Methode, welche die Geschwindigkeit des Reizes im Nerven einschaltet, aber nicht bestimmt, eine Verzögerung merkbar geworden wäre.

Huygens, Leibniz und Papin.

1. Allgemeine Bemerkungen.

Mit dem Erlöschen der Thätigkeit der Accademia del Cimento hörten auch die Arbeiten der italienischen Forscher auf experimentellem Gebiete mehr und mehr auf. Zwar wirkten noch tüchtige Mechaniker und Optiker, wie Guiseppe Campani oder Eustachio Divini¹⁾ in Rom, ersterer besonders berühmt durch die großen und vortrefflichen Linsen²⁾, die er herstellte; zwar wurde noch die Kunst, Thermometer zu verfertigen, namentlich von den Italienern geübt, italienische Mechaniker und Optiker siedelten sich überall an und nicht wenige solcher Firmen tragen oder trugen noch vor einigen Jahrzehnten italienische Namen, aber die schöpferische Thätigkeit Italiens auf wissenschaftlichem Gebiete war mehr oder weniger dahin und wie die von Italienern hergestellten Thermometer wegen ihrer Minderwertigkeit bald durch die von Fahrenheit in Holland verfertigten verdrängt wurden³⁾, so war es auch der Niederländer Christiaan Huygens (1629—1695), welcher sich um die Mitte des 17. Jahrhunderts experimentellen Arbeiten zuwendend in ihnen die technische Geschicklichkeit der Akademiker mit der vordringenden Geistesschärfe Galileis vereinigte.

Huygens stand in regem Gedankenaustausch mit Papin und Leibniz. Hatte er mit jenem eine Reihe von Versuchen gemeinsam ausgeführt oder besser, hatte sie Papin (1647—1712) in seinem Auftrage angestellt, so verband ihn mit diesem ein gemeinsames Interesse für theoretische, namentlich mathematische Fragen. Aber auch Leibniz (1646—1716) stand in eifriger Korrespondenz mit Papin und wie mit ihm, so auch mit einer großen Zahl anderer Forscher und Experimentatoren. Wo er etwas zu lernen hoffen konnte, da knüpfte er an, förderte, soweit es ihm möglich war die Arbeiten, die ihn interessierten — und experimentelle interessierten ihn immer — und führte die zu Grunde liegenden Ideen nicht selten weiter fort. Aber von seinen Ideen sind nur wenige veröffentlicht, viele auch jetzt noch von größtem Interesse und nicht nur um dieses Umstandes,

1) Huygens, Oeuvres complètes. La Haye. Bd. I. S. 412.

2) Cüster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im königl. Museum zu Kassel 1878. S. 45.

3) Wolf, Acta Eruditorum. Lipsiae 1714. August. S. 380.

sondern auch um des anderen willen, dass er alles Wissenswerte seiner Zeit gesammelt und aufbewahrt hat, sind seine nachgelassenen Schriften eine Fundgrube für die Entwicklungsgeschichte der Physik und Technik. Bei dieser Sachlage wird es am geeignetsten sein, die drei genialen Männer zusammen zu betrachten, womit freilich nicht ausgesprochen sein soll, dass ihre Bedeutung für den Fortschritt der Wissenschaft die gleiche gewesen ist.

Ihnen gegenüber steht Newton, der in Wissenschaft und Leben ihr Gegner gewesen ist. Während aber der berühmte Engländer auf seine Zeitgenossen einen durchaus bestimmenden Einfluss ausübte, so war derjenige jener drei Erstgenannten nur gering. Sie haben das gemeinsame Schicksal gehabt, dass erst unser Jahrhundert, indem es die Newtonschen Fesseln sprengte, ihnen gerecht geworden ist, und es ist kein geringer Ruhm für sie, dass die neuere Forschung in nicht wenigen Gebieten da wieder anknüpfte, wo jene sie gelassen hatten. So steht auch in unserer Betrachtung ihnen Newton gegenüber als Ausgangspunkt der Arbeiten des 18. Jahrhunderts.

2. Huygens' Erfindung der Pendeluhr.

Sogleich bei Gelegenheit seiner ersten Arbeit musste Huygens den Schmerz erleben, des Plagiats an dem von ihm so hoch verehrten Galilei geziehen zu werden. Dass der große Florentiner das Pendel zur Zeitbestimmung hatte verwenden wollen, war ihm bekannt. Hatte Galilei doch mit den Generalstaaten Verhandlungen gepflogen, die die Lösung der Aufgabe, wie auf der See genaue Längenbestimmungen ausgeführt werden könnten, zum Gegenstand gehabt hatten. Aber die Unterhandlungen, an denen Huygens' Vater wenigstens indirekt Teil genommen hatte, hatten sich zerschlagen und man glaubte nicht anders, als dass die Lösung der genannten Aufgabe dem großen Florentiner nicht gelungen sei. Dass er eine Pendeluhr erfunden hätte, daran konnte niemand denken, um so weniger als auch Viviani in seiner 1654 veröffentlichten »Vita di Galileo Galilei« nichts davon erwähnte. Die Wichtigkeit der Lösung der Aufgabe aber trieb immer wieder zu erneuter Bearbeitung an und ließ sie auch Huygens in Angriff nehmen. Seine Bestrebungen wurden mit Erfolg gekrönt, es gelang ihm in der Pendeluhr einen durchaus zuverlässigen Zeitmesser zu konstruieren, und nicht ohne hohe Befriedigung teilte er seine Entdeckung 1657 in seiner Schrift »Horologium« mit. Aber wie musste er sich getäuscht sehen, als statt der gehofften Anerkennung von Italien sofort Prioritätsansprüche für Galilei einliefen, die sich auf die zugleich in Zeichnung mitgesandte in Fig. 117 dargestellte Pendeluhr Galileis gründeten. Gebührt nun auch der Zeit nach Galileis Erfindung der Vorzug, eine Vergleichung beider Erfindungen bewiese allein schon, dass Huygens die seinige durchaus selbständig ausgearbeitet hat, selbst wenn wir dafür nicht die glaubwürdigsten Zeugen hätten. Denn Galilei hat dem Pendel ein

Uhrwerk zugefügt, Huygens aber den damals üblichen Uhrwerken ein Pendel. Wäre also auch die Galileisehe Erfindung mit der Huygensschen bekannt geworden, sie hätte sich der letzteren gegenüber doch nicht behaupten können; für ein Billiges an seiner Uhr die Verbesserung anbringen zu lassen, dazu war wohl mancher bereit, der vor der Anschaffung einer neuen Uhr zurückgesehen wäre. Die erste Erfindung Huygens' aus dem Jahre 1657 zeigt Fig. 178¹⁾. Ein Vergleich mit den in damaliger Zeit üblichen Uhrwerken, wie ein solches in Fig. 75 abgebildet ist, lässt erkennen, dass Huygens die senkrechte Achse der Hemmungen verkürzte, durch die Blättchen *M* und *N* (Fig. 178) aber nach wie vor die Bewegung des Steigrades hemmen ließ und durch Zugabe des Kronrades *P* und des Getriebes *O* die Anbringung des Pendels möglich machte. 18 Jahre später änderte er diesen ersten Entwurf in den in Fig. 179, S. 180, dargestellten ab; er legte die die Hemmungen *L* tragende Stange horizontal und schaltete die Räder *H* und *I* zwischen sie und das Räderwerk ein. Großes Gewicht legte er von vornherein auf die Art der Aufhängung des Pendels, wie aus seinen brieflichen Äußerungen über die Priorität Galileis folgt²⁾. Er verwarf die Aufhängung mittels einer Achse und wählte statt ihrer einen Faden, der zwischen zwei Metallbarren mittels einer Schraube festgeklemmt wurde, wie Fig. 178 zeigt, oder zwei ebenso befestigte Fäden, welche Aufhängung aus Fig. 179 und 180, S. 180, erschen werden kann. Die Verbindung des Pendels mit dem Werke erreichte er mittels einer Gabel *QR* (Fig. 178), *MSV* (Fig. 179). Sie ist bis zum heutigen Tage beibehalten. Da er gefunden hatte, dass ein Pendel, dessen Aufhängefaden sich längs zweier nach Cykloiden gekrümmten Balken anlegt, isochron bei jeder Schwingungsweite schwingt, so brachte er solche

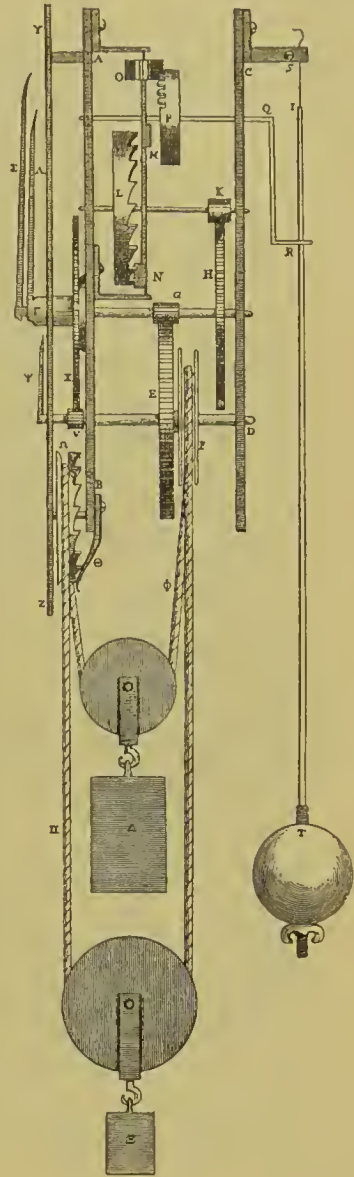


Fig 178.

1) Chr. Huygens, *Horologium. Opera varia.* Vol. I. S. 1. Die Schrift erschien 1658, nachdem Huygens bereits 1657 von den Generalstaaten ein Patent auf seine Erfindung erhalten hatte.

2) Huygens, *Oeuvres complètes.* Bd. II. S. 406 und Bd. III. S. 12. Brief an Boulliau vom 14. Mai 1659 und 22. Januar 1660.

Backen T' (Fig. 179 und 180) an, ließ sie aber später wieder weg, weil ja die Schwingungsweite und somit auch die Schwingungsdauer des Uhrpendels ihren Wert behält. Das Pendelgewicht machte er beweglich oder

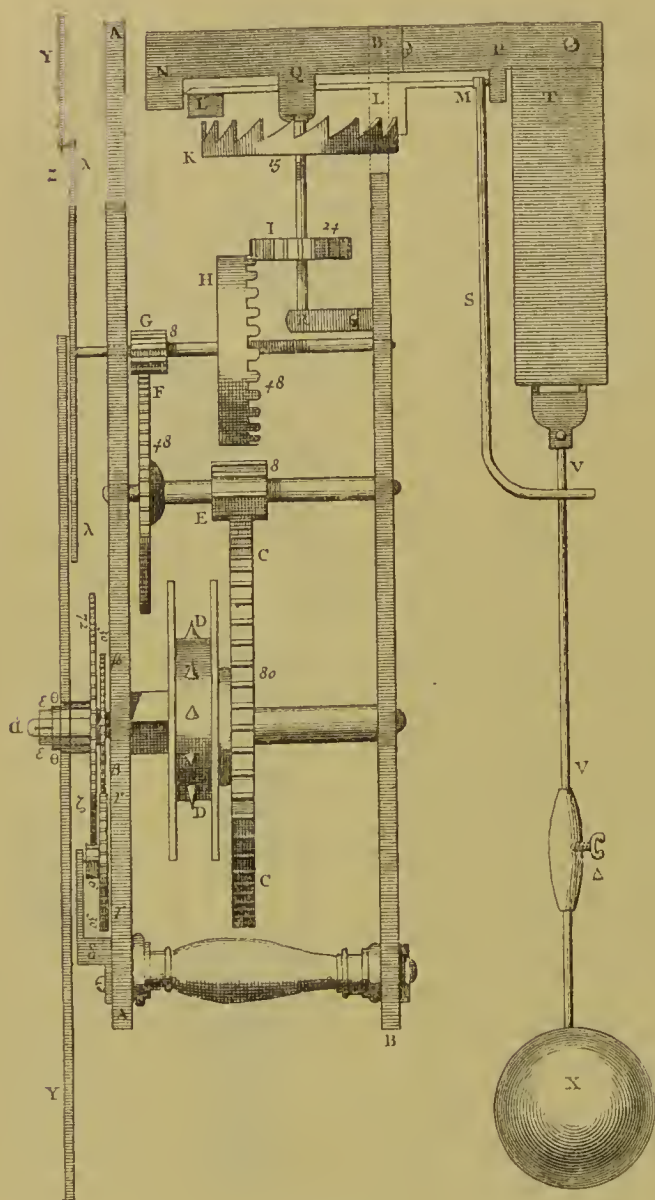


Fig. 179.

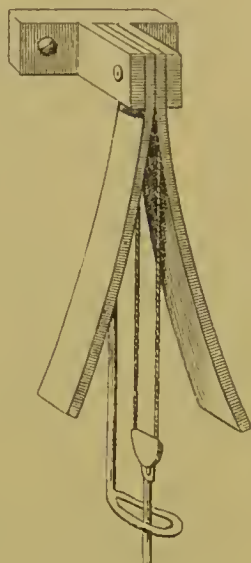


Fig. 180.

brachte an die Pendelstange ein Laufgewicht, um die Pendellänge regulieren zu können. Endlich fügte er die aus Fig. 178 ersichtliche Einrichtung hinzu, die auch während des Aufziehens der Uhr ihr Gewicht auf das Pendel wirken zu lassen gestattet. Dies wird mit Hilfe der beiden festen Rollen Ω und F' und der beiden, die Gewichte Ξ und Δ tragenden losen Rollen bewirkt, um welche die

endlose Schnur $\Pi\Phi$ geschlungen ist. Auf Ω sitzt ein Sperrrad, das den Sperrkegel Θ sich nur in einer Richtung drehen lässt. Beim Aufziehen wird nun die Schnur Π herabgezogen, wobei sich Ω mitdreht und so das Gewicht Δ gehoben. Während dieser Zeit bleibt aber die Spannung in Φ ungeändert und somit auch der Druck auf die Hemmung.

Die große Verbesserung des Ganges einer Uhr, welche durch Anbringung eines Pendels zu erhalten war, die Leichtigkeit, mit welcher nach Huygens' Vorgang jedes beliebige Uhrwerk damit versehen werden konnte, ließ die

Anwendung der Pendeluhr bald eine allgemeine werden. Fig. 181 dürfte beweisen, dass man sofort nach dem Bekanntwerden der Huygensschen Schrift in soleher Richtung vorging. Das Original dieser Figur wurde Huygens zugleich mit der in Fig. 117 dargestellten Uhr Galileis durch Vermittelung des Pariser Mathematikers Boulliau (1605—1694) vom Prinzen Leopoldo von Medici übersandt¹⁾. Sie trug die Bezeichnung: »Figure de l'horloge à pendule qui est a Florence dans le vieil palais de Medici«

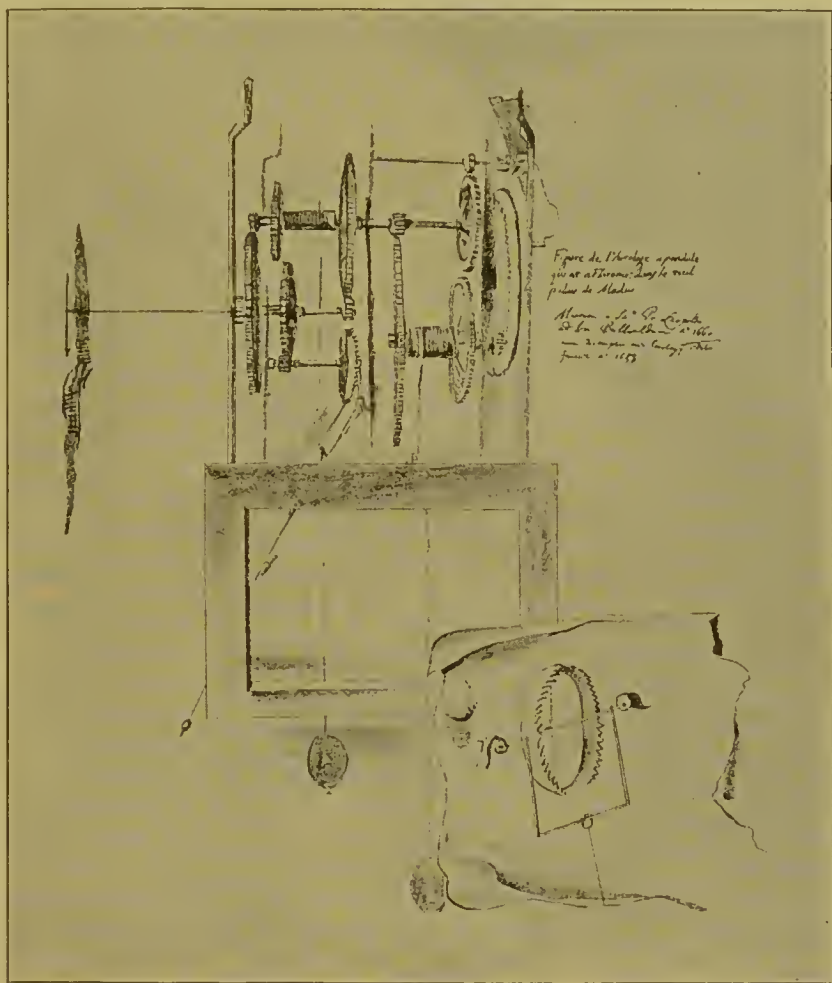


Fig. 181.

und Huygens hat darunter gesetzt: »Missum a Sr^o Pr. Leopoldo ad Dm Bullialdum a^o 1660 eum descriptio mei horologii edita fuisse a^o 1658.« Es fällt dabei die Art, wie das Pendel mit dem Steigrad in Verbindung gebracht worden ist, auf, die an Einfachheit noch den zweiten Huygensschen Entwurf übertrifft, und es macht fast den Eindruck, als sei, um es anzubringen, das vorhandene Uhrwerk nur umgedreht worden. Wenigstens dürfte die unzweckmäßige Lagerung der das Gewicht tragenden

¹⁾ Huygens, Oeuvres complètes. Bd. III. S. 14.

Walze über den beiden Achsen dafür sprechen. Weiteres ist über dieses Uhrwerk nicht bekannt; doch scheint es als eine Anwendung der Huygensschen Erfindung auch von den Italienern angesehen worden zu sein, wenigstens erhoben sie auf diese Uhr hin keine Prioritätsansprüche zu Ungunsten von Huygens. Vielmehr erwähnt Viviani¹⁾ ausdrücklich, dass Ph. Treffler unter Benützung der Huygensschen Erfindung, sowie einer von Generini (1593—1663) verbesserten Konstruktion des Galileischen Entwurfes, einige in Florenz vorhandene Uhren umgestaltet habe, so dass die zu des ersten Gunsten wohl auch gemachten Ansprüche auf einen Anteil an der Erfindung der Pendeluhr sicher unbegründet sind.

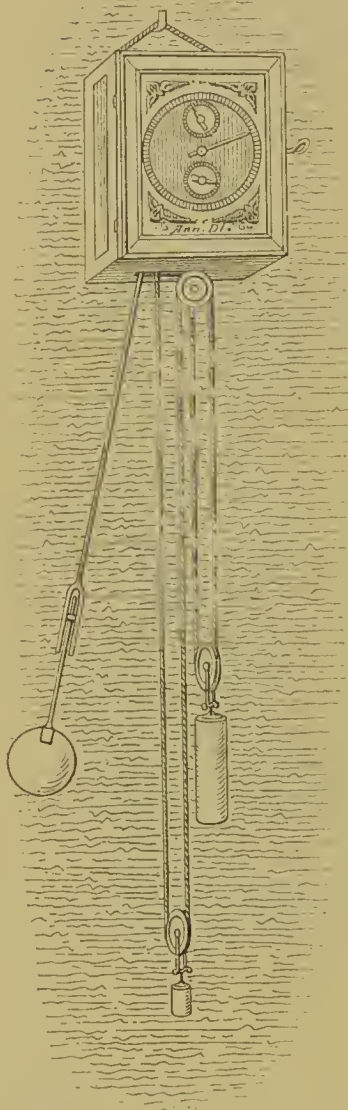


Fig. 182.

Nach seinem Plane ließ nun Huygens von Thuret in Paris eine Uhr anfertigen. Sie dürfte schwerlich erhalten sein. Die im physikalischen Kabinet der Universität Leiden vorhandene, welche der Überlieferung nach die erste Huygenssche Pendeluhr sein soll, ist dieses offenbar nicht, da sie bereits die cykloidalen Streifen besitzt, aber auch außerdem in ihren Einzelheiten mit dem späteren Entwurf übereinstimmt, wie ein Blick auf die sie darstellende Fig. 182 erkennen lässt.

Auch die Aufgabe, die Längen auf dem Meere zu bestimmen, suchte Huygens mit der Pendeluhr zu lösen. Er benützte 1673 dazu die in Figg. 183 und 184 dargestellte Einrichtung, die er folgendermaßen beschreibt: »Das Pendel²⁾ hat die Form eines Dreiecks, an dessen sich unten befindender Spitze eine Linse aus Blei angebracht ist. Die Winkel auf beiden Seiten sind zwischen cykloidalen Platten an Schnüren aufgehängt. Die Grundlinie wird in der Mitte von einer zweizinkigen Gabel gehalten und von ihr bewegt, diese aber erhält ihre Bewegung von einem horizontalen Zahnrade. Die Bewegung sämtlicher Räder geht nicht von einem Gewichte, sondern von einer stählernen, in einer Kapsel ein-

geschlossenen Feder aus. In der beigelegten Fig. 183 ist *ABC* das dreieckige Pendel, *B* die Linse aus Blei, *ED*, *FG* die cykloidalen Platten, *HK* die

1) Alberi, *Le Opere di Galileo Galilei* 1856. Supplement. S. 341.

2) Hugenii, *Opera varia*. Vol. I. S. 50.

zweizinkige Gabel, *N* das Steigrad, welches das am tiefsten gelegene von den Rädern der Pendeluhr ist. *LL* sind kleine Linsen zur Regulierung der

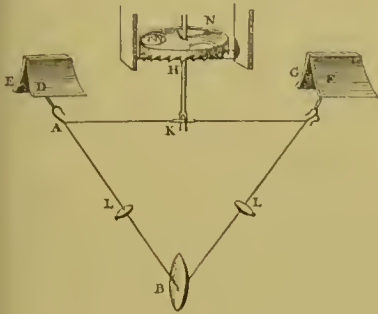


Fig. 183.

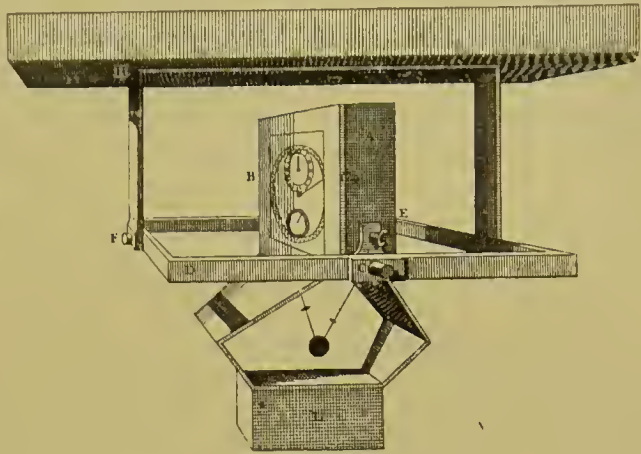


Fig. 184.

Bewegung des Pendels.« Die Art der Aufhängung dieser Uhr zeigt Fig. 184. Sie ist um zwei zu einander senkrechte Achsen drehbar, die eine durch *F*, die andere durch *C* gehend und von dem festen eisernen Rahmen *FHKG* und dem beweglichen *FDGE* getragen. Der mit dem Uhrkasten ein Ganzes bildende Behälter *L* schließt ein Gewicht von 50 Pfund ein, so dass die Uhr bei allen Schwankungen des Schiffes ihre senkrechte Lage beibehält. Indessen schien die Vorrichtung noch nicht zufriedenstellend genug

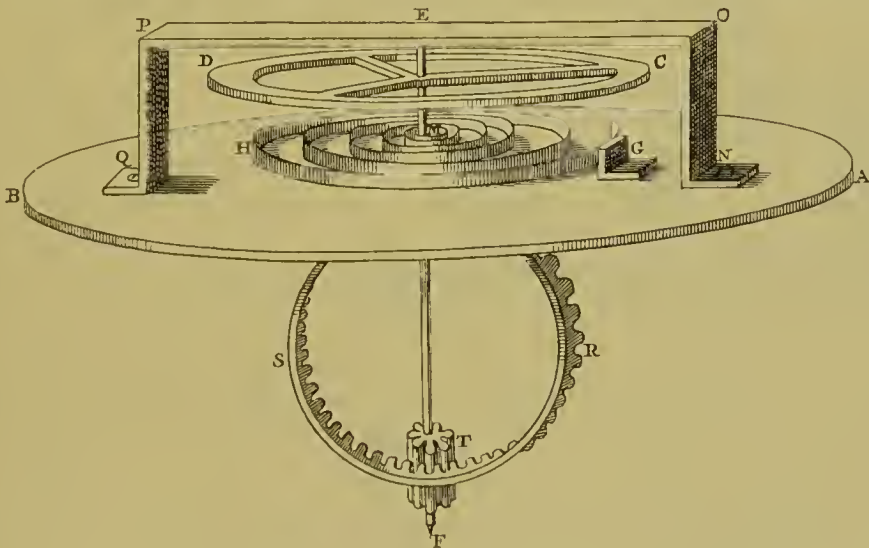


Fig. 185.

zu arbeiten, und so ersetzte Huygens sie und das in senkrechter Ebene schwingende Pendel durch die verbesserte Unruhe, die er 1675 mitteilte. Fig. 185 stellt sie dar. *DC* ist die Unruhe¹⁾, *GH* die nur mit ihren

¹⁾ Journal des Scavans. IV vom 25. Febr. 1675. Amsterd. 1677. S. 68. Auch Hugenii, Opera varia. Vol. I. S. 253.

Enden befestigte, sonst ganz freie Feder, deren Elastizität die Wirkung der Schwere beim gewöhnlichen Pendel ersetzt. *RS* ist eines der Räder des Uhrwerkes, welches seine Bewegung von der die Uhr treibenden Feder durch das Rad *T* erhält. Federnuhren mit Horizontalpendeln von der Form des abgebildeten hatte man längst. Die behufs der Regulierung der Pendelschwingungen zugefügte Spiralfeder *GH*, die jetzt in keiner Taschenuhr fehlt, ist die Erfindung von Huygens.

3. Huygens' Linsen und Fernröhre.

Etwa gleichzeitig mit den Arbeiten zur Verbesserung der Uhren, eher noch etwas früher, hatte sich Huygens, unterstützt von seinem älteren Bruder Constantyn (1628—1697) der Herstellung großer Glaslinsen zugewendet, welche als Objektive für astronomische Zwecke dienen sollten. Es sind noch eine Zahl solcher Linsen vorhanden, doch sind dieselben außer der, mit welcher Christiaan am 25. März 1655 den ersten Saturnmond entdeckte¹⁾, Werke von Constantyn. Sie war lange verloren und ist erst vor etwa 30 Jahren in Utrecht wieder aufgefunden worden. Ein an ihrem Rande eingegrabenes Anagramm ließ sie leicht erkennen.

Die Art, wie die Brüder Huygens ihre Linsen herstellten, hat uns Christiaan in einer besonderen Schrift: *Commentarii de formandis poliendisque vitris ad Telescopia* aufbewahrt²⁾. Die ersten Unterweisungen hatte er von dem Lütticher Professor Gerhard van Gutschoven (1615—1668) erhalten, dessen Kenntnisse wohl von den Brillenmachern, deren Kunst in den Niederlanden, wie wir gesehen haben, blühte, herrühren mochten³⁾. Um den Linsen die richtige Gestalt geben zu können, musste man sie in einer Form schleifen, die zunächst zu verfertigen war. Dazu wurde eine kupferne oder eiserne Platte oder eine aus demselben Materiale in roh passend gemachter Gussform gegossene Schüssel (*catinus*) zunächst ausgedreht. Zu ihrer weiteren Bearbeitung diente Fig. 186, ein einer Drehbank ähnlicher Apparat, den die untere Figur als Ganzes darstellt, während die obere Figur den Support im Grundrisse giebt und die Schüssel und die sie tragende Welle zum Teil im Durchschnitte zeigt⁴⁾. An die Schüssel war eine Schraube gelötet, mit deren Hilfe sie an der Welle (*cauda*) befestigt werden konnte, die Welle aber wurde auf der einen Seite von einer Spitze, auf der anderen von einer als Lager dienenden durchbohrten Platte (*abacus*) getragen. Die durch Schnurlauf zu bewegende Riemenscheibe (*discus*) saß auf der Welle, an ihren Kopf wurde die Schüssel

1) Hugenii, *Opera varia*. T. III. S. 523.

2) Hugenii, *Opuscula posthuma*. Vol. I. S. 205.

3) Huygens, *Oeuvres complètes*. Vol. I. S. 222.

4) Hugenii, *Opuscula posthuma*. Vol. I. S. 205.

angeschraubt. Der Support bestand aus einem festen parallelepipedischen Stücke (*caput abaci*), auf welchem ein Brett (*asserrulus modulo mobili affixus*) drehbar angebracht war. An seiner der Welle zugewendeten Seite war dies Brett mit einer Leere (*modiolus mobilis*) versehen, welche an einer zweiten, auf der

Unterlage befestigten Leere (*modiolus firmus*) hergleiten konnte. Die

aneinander gleitenden Grenzflächen beider Leeren waren genau nach dem größten Kreis gekrümmt, dessen Rotation um seinen Durchmesser

die Gestalt der zu verfertigen Linse entstehen ließ. Durch die Sehranbe (*cochlea*) konnte der Drehstahl (*tornus*) mit dem Brette und der beweglichen Leere verbunden werden. Wurde nun

die Welle in Drehung versetzt, so konnte durch langsames Bewegen der beweglichen Leere und des Stichels die Form ausgedreht werden. Aus einer Platte werden Formen für größere Linsen bequemer mit Schleifsteinen ausgeschliffen, wobei immer genau nachgemessen werden muss, ob die gewünschte Form erreicht wurde.

Um die Form zu glätten und auszuschleifen, wird sie auf dem aus einem harten, aus Pech und viel Asche bestehenden Überzuge eines runden Steines, dessen Durchmesser ein wenig kleiner ist als der ihrige, abgedrückt. In den durch Erwärmen erweichten Kitt wird dann Smirgel gestrent, zunächst mit einem eisernen Spatel, danach mit der Form fest eingedrückt. Nach dem Erkalten kann man mit dem Steine die Form aus-
schleifen. Wird der Smirgel stumpf, so wird etwas neuer zugegeben, endlich die Form mit einem feineren Schleifmittel poliert.

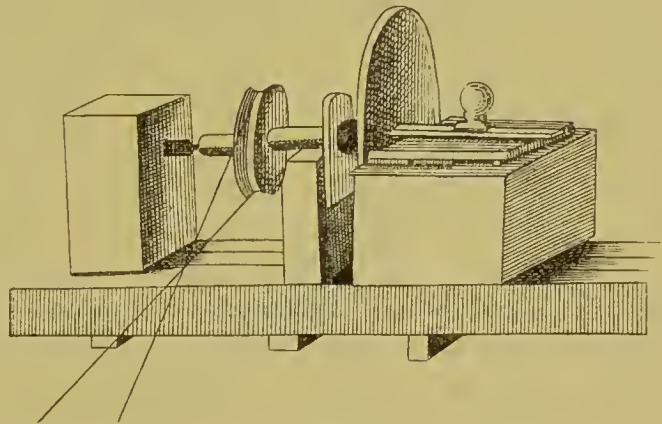
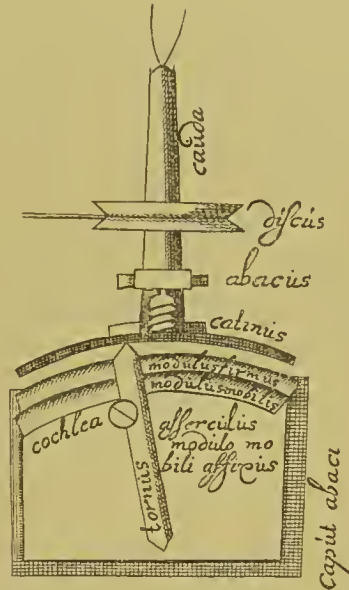


Fig. 186.

Das Glas erhielt Huygens aus den Werkstätten in 'sHerzogenbusch. Als besonders geeignet erwiesen sich Stücke, welche wie die Spiegel hergestellt wurden, nämlich aus Hohlkugeln, die, nachdem ihr Boden abgenommen war, oben und unten aufgeschnitten und im Ofen gerade gestreckt wurden. Durch Absehleifen wurden sie an allen Stellen auf gleiche Dicke gebracht. Ob schädliche Fäden vorhanden waren, wurde bei schief auffallendem Lichte untersucht; Fehler bei Linsen, die fast fertig poliert waren, wurden durch Betrachtung des Spiegelbildes einer Lichtflamme, wenn nötig, mittels eines kleineren Fernrohres, aufgefunden.

Auf das ausgewählte Glasstück zog man dann mit dem Diamanten zwei Kreise, den einen mit dem Radius der Öffnung des Fernrohres, für welches die Linse bestimmt war, den andern mit einem um eine Linie größeren Radius. Größere, über den durch den letzteren Radius bestimmten Kreis hinausgehende Stücke wurden nunmehr mit einem glühenden Eisen abgesprengt oder mittels einer Schraubzwinge abgebrochen, darauf der Rand mit Sand auf einer gusseisernen Spurplatte kreisförmig abgeschliffen. War dies geschehen, so kittete Huygens eine mit einem Loche versehene kupferne Platte auf ihre eine Seite und schliß sie auf einer ebenen Platte ab, nachdem in die Öffnung eine mit ihrem anderen Ende drehbar befestigte lange Stange gesteckt worden war. Ebenso verfuhr er mit der anderen Seite. Alsdann nahm er das Polieren und Überpolieren der Linse in der Form vor. Da er bemerkt hatte, dass ein gleichbleibender Druck notwendig sei, um dies zu bewirken, dass aber die Wärme der die Linse haltenden Hand störend wirken könne, so benutzte er zum Polieren die in Fig. 187 angegebene Maschine. *A* ist die Form, auf welche die Linse durch die Stange *CC* gedrückt wird. Den Druck übt das an den Schnüren *JJ* an den Enden der Stange *C*, an den Schnüren *JJ* aber mittels der Schnüre *FF* befestigte Holzstück *DD* aus. Durch den Träger *M*, die Schnur *L* und die Rolle *K*, welche die Kurbel *Q* hin und her dreht, kann *CC* hin und her geschoben werden. Ein aus dem Sperrrad *ZA*, den Sperrhaken *X* und *A* und der Glocke *I* bestehendes Zählwerk giebt die Anzahl der Hin- und Hergänge, indem die Glocke bei jeder Umdrehung des Rades, das bei jedem Hin- und Hergang um einen Zahn weiter bewegt wird, einmal anschlägt. Die Nebenfigur zeigt eine Abänderung der Druckvorrichtung, bei der das Gewicht *DD* durch den Druck der Holzfeder $\beta\alpha\gamma$, der durch den Wirbel ζ geregelt werden kann, ersetzt worden ist. Später suchte Huygens auch einen Vorschlag Hookes zu benutzen und die Linsen ohne Anwendung einer Form zu schleifen. Um das möglich zu machen, sollte das Glas an die eine, die Schleifscheibe an die andere von zweien in Kugelgelenken drehbaren Stangen befestigt werden¹⁾. Wir werden auf Hookes Maschine zurückkommen, Huygens vermutete, dass in ähnlicher Weise Campani seine vortrefflichen Linsen hergestellt habe²⁾.

1) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 135.

2) Ebenda V. S. 151.

Bei der Vorzüglichkeit der Linsen, die man auf solche Weise zu erhalten im stande war, wäre die Verzerrung ihrer Bilder bei kurzer Brennweite sehr ins Gewicht gefallen. Andererseits aber war es nicht gut möglich, für Linsen von sehr großer Brennweite Röhren herzustellen. Deshalb dachte Huygens 1662 daran¹⁾, nur die untere Wand des Rohres

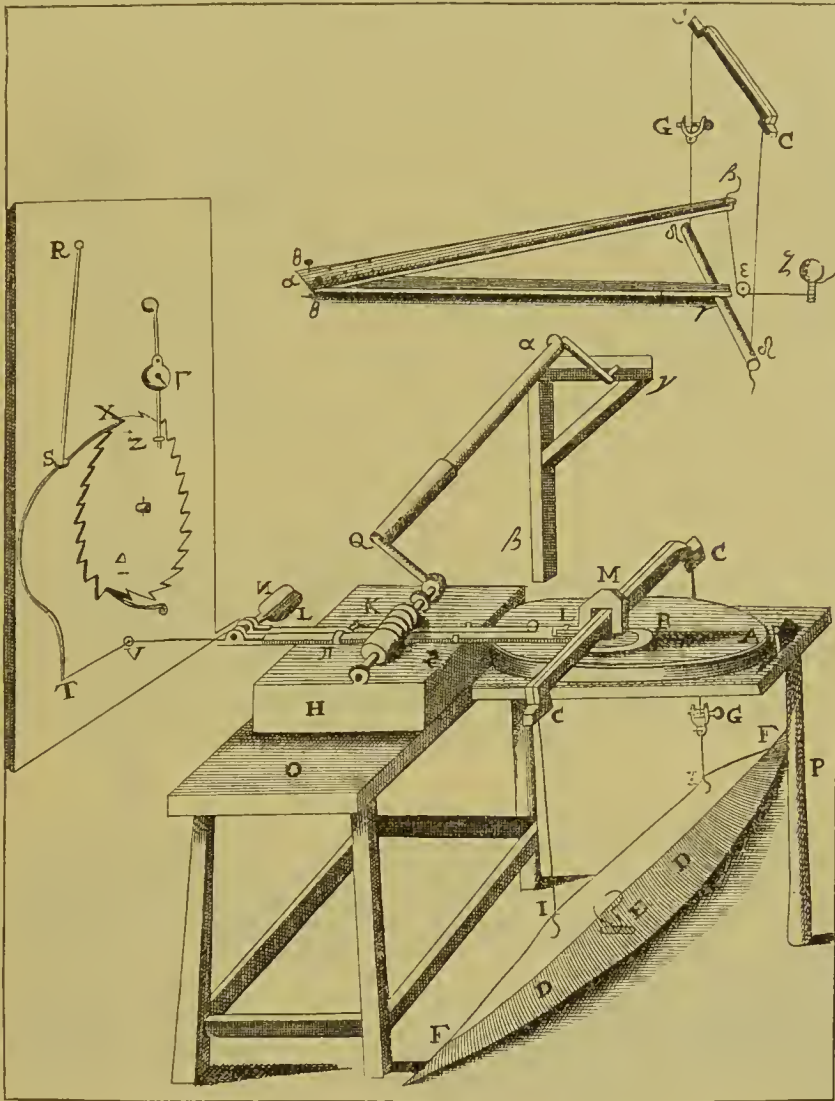


Fig. 187.

beizubehalten, schloss sich aber dann dem im folgenden Jahre gemachten Vorschlage Auzouts²⁾ (gest. 1691) an, das Rohr ganz wegzulassen und Objektiv wie Okular jedes für sich allein zu befestigen. Die Art, wie er dies auszuführen gedachte³⁾, zeigt Fig. 188, S. 188. In der Nut des Pfahles *ab*

1) Huygens, *Oeuvres complètes*. IV. S. 227.

2) Ebenda IV. S. 433.

3) Huygens, *Journal des Sçavans* 6. Dec. 1684. Bd. 12. Amsterdam 1685. Auch *Opera varia*. I. S. 261.

kann der Schieber *cd* auf und nieder bewegt werden, wenn das an ihm auf beiden Seiten befestigte, über die Rolle bei *a* gehende, mit dem Bleigewichte *h* beschwerte Seil *gg* an dem dieses Gewicht tragenden Teile gezogen wird. Der Schieber trägt das Querbrett *ff* mittels der Stütze *e* und dieses an dem Kugelgelenke *M* das Objektiv *ik*, das durch das Bleigewicht *n* äquilibrirt ist. Die es tragende Stange *kl* hat bei *l* einen kurzen biegsamen Stiel mit dem Wirbel *T*, an dem der dünne Seidenfaden

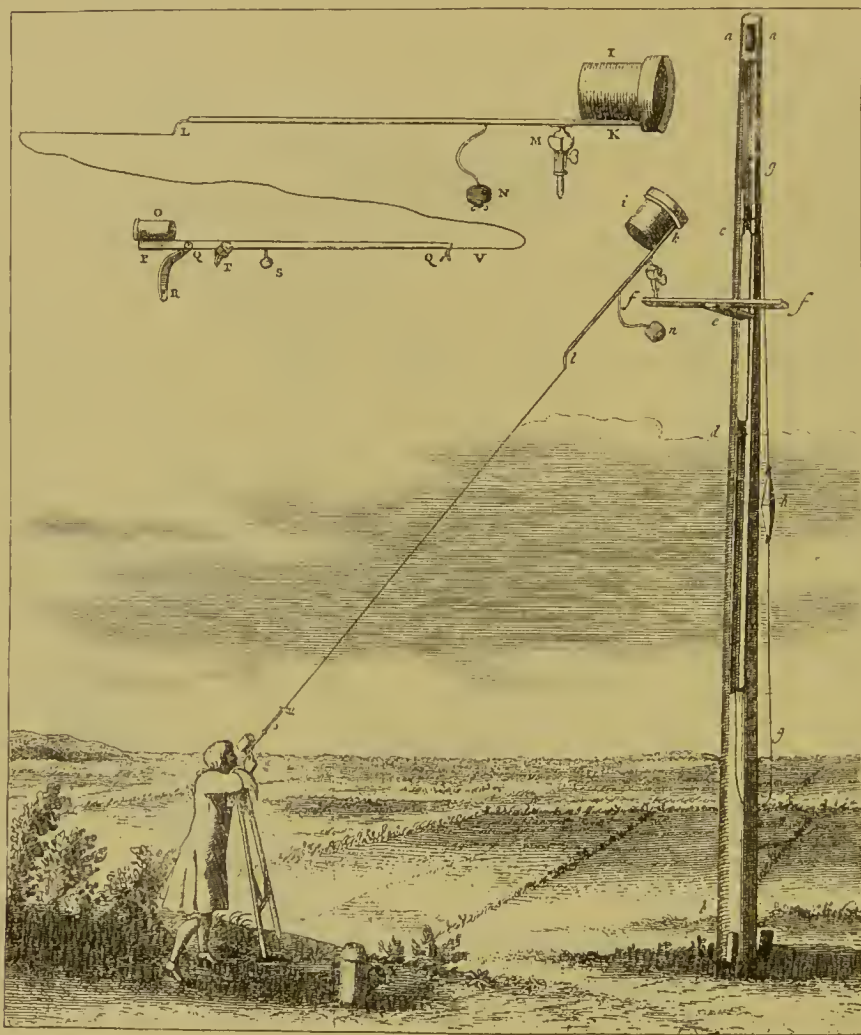


Fig. 188.

LV befestigt ist. Der Faden geht durch die Öse des das Okular *O* tragenden Stabes *PQ* bei *Q* hindurch zum Wirbel *T*; *PQ* ist mit dem Gegengewichte *S* versehen um das Okular zu äquilibriren. Mit dem Handgriffe *R* hält sich der Beobachter das Okular vor das Auge, indem er sich zugleich auf einen Stock stützt. Zum Einstellen des Okulars dient die Blendlaterne *y*, mit der man es belichten kann. Mittels des Fadens *lu* und der Schnur *g* kann das Fernrohr auf jeden Stern gerichtet werden.

Obwohl diese Art zu beobachten wegen ihrer großen Unbequemlichkeit nicht in Gebrauch gekommen ist, so zeigt sie doch, dass Huygens bestrebt war, große und reine Linsen nicht nur herzustellen, sondern auch zu benutzen. Dass sich dies durchaus nicht von selbst verstand, beweist der Irrweg, auf den der als Mathematiker so tüchtige sächsische Graf Tschirnhaus¹⁾ (1651—1708), und nach ihm der Düsseldorfer Professor Hartsoecker²⁾ (1656—1725) gerieten, die noch im Anfange des 18. Jahrhunderts alles gethan zu haben glaubten, wenn sie nur recht große Linsen herstellten. Dass diese aber wegen Fäden und Schlieren ganz unbrauchbar waren, focht sie nicht an, ebensowenig wie die Bemittelten ihrer Zeitgenossen, die sie ihnen abkauften. So sind die Linsen, die sich in vielen physikalischen Sammlungen älterer Zeit, wie sie namentlich die Wissenschaft begönnernde Fürsten zusammenbrachten, noch finden³⁾, durch Fäden so völlig unbrauchbar, dass sie das scharfe Bild eines Sternes niemals haben zeigen können⁴⁾. Das gilt nicht nur von den Objektiven, sondern auch von den Okularen. Ihre ganz unnötige Größe, die für das ganze Gesicht, aber nicht für ein Auge bestimmt zu sein scheint, beweist überdies, wie wenig ihre Verfertiger die Wirkungsweise der Fernröhre verstanden. Hält man dagegen, dass Huygens und Campani⁵⁾ zur Vermeidung der sphärischen und chromatischen Aberration ihre Okulare aus mehreren Linsen zusammensetzten, so kann nicht schärfer der Weg der ernsten wissenschaftlichen Forschung von dem des gedankenlosen Forttappens auf missverstandenen Bahnen, die sich indessen schließlich als noch leidlich gewinnbringend anließen, geschieden werden.

4. Huygens' Pendelniveau, seine barometrischen, thermometrischen und optischen Arbeiten.

Obwohl bereits um 1660 der Pariser Akademiker Thevenot (1620 — 1692) die Röhrenlibelle erfunden hatte⁶⁾ und nichts näher zu liegen schien, als sie mit einem Fernrohre zum Nivellierinstrumente zu vereinigen, so blieb man doch noch für Jahre dabei, zur Erhaltung solcher das Fernrohr in eine zur Vertikalen gelegte Senkrechte einzustellen, die genaue Richtung der Vertikalen aber durch das Pendel zu bestimmen. Butterfield (gest. 1724) hatte bereits 1677 ein solches Pendelniveau angegeben⁷⁾. Als Absehen wurden in

1) Tschirnhaus, *Aeta Eruditorum*. 1697. S. 414.

2) Ch. Wolf, *Nützliche Versuche*. 1722. II.

3) Cöster und Gerland, a. a. O. S. 44.

4) Vgl. Gerland, *Fernröhre: Handwörterbuch der Astronomie*. I. Breslau 1897. S. 700 ff. Trewendts *Encyklopädie der Naturwissenschaften*. III. 2.

5) Huygens, *Oeuvres complètes*. IV. S. 266.

6) Wolf, *Geschichte der Astronomie*. München 1877. S. 572. Auch Leibniz nennt sie *Instrumentum Thevenotianum*. Vol. B³. 7.

7) Wolf, *Ebenda*. S. 572.

dem Fernrohre seidene Fäden benutzt, welche im Brennpunkte des Objectives verschiebbar aufgestellt waren. Huygens veröffentlichte seinen Apparat, der die nämliche Aufgabe löste, im Journal des Sçavans von 1680, welches aber erst 1682 erschien. In dem nämlichen Bande befindet sich ein eben-solches Instrument von Chapotot abgebildet. 1699 konstruierte Picard¹⁾ (1620—1682) ein solehes Pendelniveau, bei dem das Pendel vor einer Skala sich bewegte und die Einstellung des horizontalen Rohres dadurch ermöglicht wurde, dass dieses ein auf zwei cylindrischen Stützen ruhendes Kugelsegment trug. Auch La Hire²⁾ (1640—1718) und Couplet³⁾ (1642 — 1722) haben Pendelniveaus angegeben, wohl das letzte noch 1710 Hartsoeker⁴⁾ veröffentlicht. Nachdem man die großen Vorzüge, welche die Röhrenlibelle für den in Rede stehenden Zweck bot, einmal erkannt hatte, kam man von den Pendelniveaus für immer zurück.

In ähnlicher Weise ging es mit den Automaten, die, wie wir sahen, Landgraf Wilhelm IV. eingeführt hatte, um die Bewegung der Himmelskörper bequem verfolgen zu können. Auch Huygens verfertigte 1682 ein solches Planetarium, welches noch in der physikalischen Sammlung der Universität zu Leiden vorhanden ist und durch Bewegung einer Kurbel die gegenseitige Stellung der Planeten in ihren Bahnen auf einer ebenen Fläche giebt. Nicht minder hat sich Leibniz mit der Konstruktion einer solchen Machina coelestis eingehend beschäftigt, ist aber über die Vorarbeiten auf dem Papiere nicht hinausgekommen. Hatten auch ihre Urheber große Freude an den komplizierten Maschinen, hier dürfen wir von einer eingehenden Beschreibung absehen. Der Gewinn stände in keinem Verhältnis zu dem Aufwande von Zeit und Raum, da ja bei noch so sorgfältiger Arbeit die Angaben dieser Automaten nur sehr annähernd zutreffen konnten.

Bedeutungsvoller waren Huygens' Arbeiten über Barometer und einige Vorschläge zur Verbesserung des Thermometers, mit denen er seit 1672 beschäftigt war. Die Ablesungen des Barometers wollte er dadurch genauer machen, dass er auf einen der weiten Quecksilberbehälter, in denen er die Quecksilbersäule des Barometers endigen ließ, Wasser brachte und durch dessen viel größere Schwankungen die des Quecksilbers gleichsam multiplizierte, oder dass er, wenn man so will, den größten Teil des Wassers im 32' langen Wasserbarometer durch die viel kürzere Quecksilbersäule ersetzte. Fig. 189 zeigt seinen ersten Entwurf des neuen Barometers⁵⁾. Er bestand aus einem langen Barometerrohre *AB*, welches in seiner Mitte die Erweiterung *CD* aufwies. Es wurde nun so viel Wasser in das offene Ende gegossen, als nötig war, um die Hälfte des Gefäßes *CD* und die

1) Mém. de l'Acad. Franç. Paris 1699. IV. S. 233.

2) Leupold, Theatrum machinarum hydraul. 1724. Tab. III. Fig. IX.

3) Histoire de l'Acad. Royale des Sciences. Paris 1699. S. 127.

4) Miscellanea Berol. 1710. I. S. 388.

5) Hugenii, Opera varia I. S. 276. Übers. aus Journal des Sçavans vom 12. Dez. 1672. III. Amsterdam 1673. S. 137.

des Röhrenstückes *CE* anzufüllen. Der übrige Raum wurde mit Quecksilber gefüllt, dann in gewohnter Weise die Öffnung *B* mit dem Finger geschlossen und unter Quecksilber geöffnet. Die Figur zeigt die Art, wie sich die Flüssigkeiten nun übereinander gruppierten.

Die mit diesem Apparate erhaltenen Ergebnisse befriedigten indessen Huygens nicht, er ersetzte ihn deshalb durch den anderen, welchen Fig. 190 zeigt. Befand sich bei jenem das Wasser über dem oberen Meniskus, so bedeckte es bei diesem den unteren Spiegel und der Apparat hatte die Form einer U-förmigen Röhre *NMH*, dessen bei *N* offener Schenkel unten bei *M*, dessen anderer, bei *H* geschlossener Schenkel oben bei *K* zu einem Gefäße erweitert war. *KM* war mit Quecksilber, die Hälfte von *NM* mit Wasser gefüllt. Über beide Apparate spricht sich Huygens folgendermaßen aus¹⁾: »Ich sagte, dass die zweite Konstruktion besser als die erste sei, nicht nur weil das letzte Barometer ein viel geringeres Volumen besitzt, sondern auch weil ich beobachtet habe, dass in dem ersteren die geringe Menge Luft, welche das Wasser im leeren Raume aushaucht, sich nach und nach mit der Zeit vermehrt. Diesem Übelstande ist das Barometer von 32 Fuß, von dem ich oben sprach [das Wasserbarometer ist gemeint] unterworfen. Um ihm zu begegnen, muss man eine Flüssigkeit suchen, welche nicht wie Wasser oder Weingeist Luft erzeugt. Dass unser späteres Barometer unter diesem Übelstande nicht leidet, ist klar, da das Wasser sich nicht im Vakuum befindet. Sollte man beobachten, dass das Wasser des zweiten Barometers Dämpfe aushauchte, so hat man nur nötig, einen Tropfen Öl darauf zu gießen, welches in der Kälte nicht gerinnt und in der Wärme keine Dämpfe ausstößt, wie süßes Mandelöl.«

Diese Konstruktion erfüllte den gewünschten Zweck vollkommen, auch begegnen wir hier einem Unterschiede, der zwischen Luft und den ausgestoßenen Dämpfen gemacht wird, wenn auch beide noch nicht als verschiedene Stoffe betrachtet werden. Ferner verlangt Huygens, dass das Quecksilber gut von Luft befreit und getrocknet ist. Anstatt des Wassers in *NM* schlägt er auch eine andere Flüssigkeit vor, die aber nicht in der Kälte frieren und das Quecksilber auflösen dürfe. Weingeist habe zwar beide Eigenschaften, dehne sich aber durch die Wärme zu sehr aus, gut geeignet sei eine Mischung von gewöhnlichem Wasser mit $\frac{1}{8}$ seines Volumens Weingeist.



Fig. 189.



Fig. 190.

1) Hugenii, Opera varia etc. I. S. 278.

Dass Huygens auch höchst wichtige Vorschläge zur Verbesserung des Thermometers gemacht hat, ist erst hervorgetreten, seitdem sein Briefwechsel veröffentlicht wurde. Er wurde dazu durch den ersten Präsidenten der Londoner Royal Society, Robert Moray (um 1610—1673) angeregt, mit dem er in eifrigem Briefwechsel stand. Verfertigt freilich hat er solche Apparate nicht, ja nicht einmal die, welche ihm Moray versprochen hatte, erhalten. Trotzdem aber durchsehte er mit sicherem Blicke die Fehler bei der Herstellung der Thermometer und gab die Mittel an, wie sie zu verbessern seien. Hooke¹⁾ hatte die Wärmemesser dadurch empfindlicher machen zu können geglaubt, dass er ihnen Röhren von 2 bis 3 Fuß Länge und 0,1 Zoll lichte Durchmesser gab, die zu Kugeln von 2 Zoll Durchmesser gehörten. Huygens wendet gegen diesen Vorschlag ein, dass solche Thermometer doch nur in wenigen Fällen zu gebrauchen sein möchten, macht auf das in Fig. 160 abgebildete Thermometer der Accademia del Cimento aufmerksam, schlägt aber zugleich vor²⁾, »auf eine allgemeine Messung und Bestimmung der Kälte und Wärme zu wirken; indem man zuerst dafür sorgte, dass der Rauminhalt der Kugel in einem gewissen Verhältnisse zu dem der Röhre stehe und dann als Ausgangspunkt der Kältegrade den nähme, bei welchem das Wasser beginnt zu frieren, oder wohl den Wärmegrad des siedenden Wassers, damit man, ohne die Thermometer zu versenden, sich die Wärme- und Kältegrade, welche man in den Versuchen gefunden hat, mitteilen und sie der Nachwelt bezeichnen könne«. So hat Huygens zuerst auf den Weg hingewiesen, der in der Folge zur Herstellung genauer Thermometer führte.

Die wichtigsten experimentellen Untersuchungen, welche uns Huygens hinterlassen hat, behandeln bekanntlich optische Stoffe und sind in seinem *Traité de la Lumière* und in seiner *Dioptrik* enthalten, von welchen beiden Werken das erste 1690, das andere erst posthum erschien. Nicht die in ihnen vorgeführten Versuche selbst aber waren es, welche sie, namentlich die erste, als Meisterwerke erscheinen lassen, es war die Deutung der mit einfachen Mitteln herzustellenden Erscheinungen, welche die Wellenlehre des Lichtes begründete und deren Darstellung als bisher unübertroffen noch in den modernen physikalischen Lehrbüchern ungeändert benutzt wird. Das eigentliche Experimentieren erforderte weder Apparate, noch besondere Vorrichtungen und wir können deshalb hier darüber hinweggehen.

1) Huygens, *Oeuvres complètes*. V. S. 138.

2) Ebenda. S. 188. Vgl. Gerland, *Zeitschrift für Instrumentenkunde*. 1893. XIII. S. 341.

5. Die Verbesserung der Luftpumpe durch Huygens, Papin und einige ihrer Zeitgenossen.

Eingehender haben wir uns mit Huygens' Arbeiten über und mit der Luftpumpe zu beschäftigen, deren Beginn bereits in das Jahr 1661 zurückreicht. Bei einem Besuche, den er damals London abstattete, lernte er durch die Mitglieder der Royal Society die Luftpumpe kennen — es war die Boyles — und sah auch einige interessante Versuche damit anstellen. Das erregte in ihm den Wunsch sich einen ebensolchen Apparat zu bauen, an dem er jedoch einige Verbesserungen anzubringen gedachte. Nach Hause, in den Haag, zurückgekehrt, machte er sich sogleich ans Werk, doch erzählen uns die Briefe, die der große Holländer an seine Brüder Constantyn und Ludwig schrieb, zunächst von mancherlei Misserfolgen. Den Stiefel hatte er bei einem Instrumentenmacher im Haag bestellt, als er ihn aber erhielt, war »die Röhre von so ungleicher Weite, dass man keine oder wenig Luft aus der Flasche herausbekommen konnte«¹⁾, wie er seinem Bruder Constantyn am 22. Oktober 1661 schrieb. Unter dem Datum des 4. November fragt er dann bei Moray an, ob Boyle seinen Kolben aus Holz oder Kupfer gemacht habe. Erst am 30. November aber, nachdem die erste Röhre durch eine aus massivem Kupfer ersetzt worden war, kann er von gelungenen Versuchen berichten. »Seit gestern geht meine Luftpumpe«, schreibt er an seinen Bruder Ludwig²⁾, »und während dieser ganzen Nacht ist eine darin befindliche Blase ausgedehnt geblieben (obwohl vorher kaum Luft darin war), was Boyle niemals hat erreichen können. Morgen wird es einigen Sperlingen und Mäusen das Leben kosten, die ich schon im Vorrat habe. Einer der ersten Versuche wird das Zerbreehen einer der kleinen Glasthränen sein, wofür ich ein Mittel, ohne eine andere Öffnung, wie die untere nötig zu haben, zu besitzen glaube. Ich bediene mich nämlich (als eines Rezipienten) nur einer umgekehrten Flasche mit sehr weitem Hals.« Die Glasthränen, Glastropfen, welche geschmolzen in kaltes Wasser waren fallen gelassen und durch das plötzliche Abkühlen so spröde geworden waren, dass sie nach Abbrechen der Spitze in lauter ganz kleine Teilchen zerfielen, hatte Prinz Ruprecht von der Pfalz (1619—1682) nach England gebracht, Guericke³⁾ hatte von ihnen gehört, aber bis 1686 keine zu Gesicht bekommen. Moray hatte mit ihnen Versuche angestellt und man glaubte gefunden zu haben, dass sie im luftleeren Raum in kleinere Stücke zersprängen, wie im luftgefüllten. Das fand indessen Huygens bei seinem am 7. Dezember angestellten Versuche nicht bestätigt. »Sie zerbrach zu Staub ohne jeglichen Respekt vor dem leeren

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 370.

2) Huygens, Ebenda. III. S. 395.

3) Guericke, Experimenta nova. 1686. S. 141.

Raum«, schreibt er seinem Bruder Ludwig darüber¹⁾, während er geglaubt hatte, sie würde gar nicht oder doch mit weniger Heftigkeit zerspringen. Auch andere Versuche gelangen. Aber »die ganze Maschine²⁾ ist noch nicht auf dem Punkte, wo ich sie haben will, obsehon sie viel besser arbeitet, wie vorige Woche, als ich Dir schrieb, dass $\frac{1}{20}$ oder noch mehr Luft zurückblieb. Es bleibt jetzt, wenn ich will, nicht $\frac{1}{100}$.« Endlich glaubt er diesen Punkt erreicht zu haben und mit Hilfe des in Fig. 191 dargestellten Apparates beweisen zu können, dass es ihm gelungen sei, alle

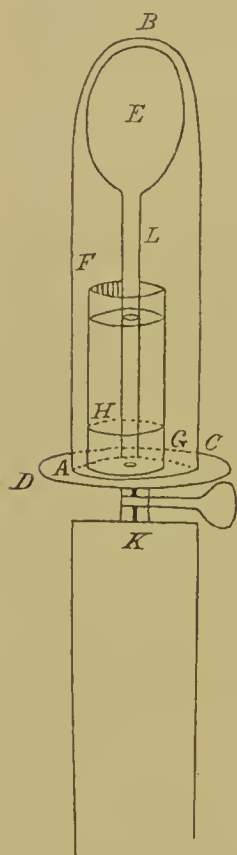


Fig. 191.

Luft aus dem Rezipienten zu ziehen. »ABC ist ein Glas von etwa 1 Fuß Höhe«, so schildert er ihn seinem Bruder in einem Briefe vom 21. Dezember³⁾, aus dem Fig. 191 genommen ist, »das auf dem Teller DC steht, der immer an der Pumpe K befestigt bleibt. Unter dieses Gefäß ABC setze ich das Glas FG, welches Wasser bis zu H enthält, damit, wenn ich den Hals oder das Rohr des ganz mit Wasser gefüllten Gefäßes E hineintauche, dieses Wasser nicht ausfließen kann. Ist nun ABC auf dem Teller aufgeklebt, so dass die Luft nicht darunter gelangen kann, so beginne ich mit der Pumpe diejenige zu verdünnen, die darunter ist. Nach den fünf oder sechs ersten Zügen zeigt sich keine Veränderung, wenn nicht in dem Wasser Blasen aufsteigen, je nachdem dasselbe mehr oder weniger frisch ist. Ist es aber von Luft befreit (was geschieht, wenn man es eine Nacht unter der Luftpumpe stehen lässt), so steigen nur sehr wenige auf. Setzt man nun das Pumpen fort, so beginnt das Wasser in E plötzlich herabzusinken, indem es den oberen Teil des Gefäßes verlässt, der luftleer zurückbleibt. Ist es nach und nach in dem Halse L herabgegangen, so bleibt es in der Höhe stehen, wo ihm das Wasser aus dem Glase FG begegnet, welches in demselben Maße steigt, in dem E sich entleert.

Daraus schließe ich, dass, da das Glas E ganz leer von Luft wird, bis zu der Stelle, zu welcher das Wasser sinkt, auch der Rezipient ABC luftleer sein muss, weil, wenn etwas Luft darin bliebe, diese auf die Oberfläche des Wassers in FG drücken und dadurch das Wasser in L etwas höher stehen müsste.... Indessen ist noch zu bemerken, dass, wie sehr auch das Wasser in E von Luft gereinigt sei, sich doch ein wenig Luft bei diesem Experiment bildet, welche sichtbar wird, wenn man die Luft

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 397.

2) Ebenda. S. 408. Brief vom 14. Dez. an seinen Bruder Ludwig.

3) Ebenda. S. 414.

durch den Hahn in den Rezipienten zurücktreten lässt, denn dann füllt sich das Gefäß *E* von neuem vollständig mit Wasser, mit Ausnahme einer kleinen Blase von der Größe eines Hanfkornes, welche doch nicht im stande ist, ihre Federkraft soviel tausendmal zu vergrößern, als erforderlich wäre, um alles Wasser aus dem Halse *L* herauszutreiben und deshalb schließe ich, dass der in dieser Blase enthaltenen Luft keine Bedeutung zukommt.

Auch das ist nur eine neue und schöne Beobachtung bezüglich dieser selben Blase, nämlich die, dass wenn sie in dem Gefäß mit Wasser blieb, während ich die Maschine ausgepumpt während eines Tages und einer Nacht stehen ließ, ich fand, dass sie verschwunden war, und dass das Wasser in *E*, aus dem ich sie gewaltsam ausgetrieben hatte, sie wieder angesaugt hatte.«

Die Luftpumpe von Huygens ist der von Boyle ähnlich. Sie unterschied sich von ihr aber sehr zu ihrem Vorteil durch den zugefügten Teller und die ungleich solidere Ausführung. Ihr war es zu danken, dass der niederländische Gelehrte den Plan Boyles auf Guerickes erste Anordnung einer horizontalen von Wasser bedeckten Pumpe zurückzugehen für unnötig, ja verwerflich erklären konnte¹⁾. Auf den Teller kittete er einen flaschenförmigen Rezipienten mit dem jetzt noch verwendeten Kitt aus gelbem Wachs und Terpentin luftdicht auf. Diesen Kitt stellte er so weich her, dass das Erwärmen mit einem heißen Eisen, wie man es von Siegelack her gewohnt war, ganz wegfiel. Den Kolben brachte er vor seiner Vollendung in den kupfernen Stiefel hinein und füllte ihn so lange mit Wolle und anderen Dingen, bis er nichts mehr fassen konnte. Ob die Dichtung vollständig war, prüfte er, indem er den Kolben bei geschlossenem Stiefel herunterzog. Er musste dann von selbst seine ursprüngliche Stelle wieder einnehmen. Der Hahnsitz bestand aus Kupfer, sein Wirbel aus Holz mit einem ärmelartigen Überzug aus dünnem Leder, statt aus Zinn und Horn, wie die Engländer empfohlen hatten²⁾.

Es wird wohl kaum der Rechtfertigung bedürfen, dass wir die Arbeiten Huygens' zur Herstellung seiner Luftpumpe so ausführlich geschildert haben. Ist uns doch kaum eine andere Gelegenheit geboten, die Thätigkeit eines Experimentators vor 200 Jahren so bis in ihre Einzelheiten zu verfolgen, wie dies der Briefwechsel von Huygens erlaubt und erscheinen doch gerade diese Versuche als ein Wendepunkt in der Entwicklung der mechanischen Kunst, wie die Vergleichung der Luftpumpe von Huygens mit der von Boyle sofort ergibt. Bewundernswürdig ist auch die Sorgfalt, die Huygens auch nicht den kleinsten Umstand übersehen, die ihn alles Beachtenswerte hervorheben lässt. Endlich sind auch diese Versuche geeignet, die Frage nach der Erfindung der Barometerprobe, die einige

1) Huygens, Oeuvres complètes. III. S. 439.

2) Ebenda. S. 426.

Huygens, andere Papin zuschrieben, die ich 1883 noch offen lassen musste¹⁾, zu Gunsten von Huygens zu entscheiden.

Seine mit so glücklichem Erfolg begonnenen Versuche setzte Huygens erst im Anfange der siebziger Jahre des 17. Jahrhunderts fort, als er bereits fünf Jahre lang als Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften in Paris wohnte. Damals schloss sich ein junger Doktor der Medizin Denis Papin, der in Angers promoviert hatte, an ihn an und diesem übertrug Huygens die Fortsetzung der Versuche mit der Luftpumpe. Sie erhielt eine bequemere Form, welche Papin 1674 in seiner Erstlingschrift unter dem Titel: »Neue Versuche über den leeren Raum mit der Beschreibung der Maschinen, die zu seiner Herstellung dienen«, beschrieb²⁾. Das kleine Buch ist Huygens zugeeignet und beginnt mit den Worten: »Diese Versuche gehören Ihnen, da ich sie fast alle nach Ihrer Angabe angestellt habe, und nach den Vorschriften, welche Sie mir machten. Aber da ich weiß, dass sie Ihnen nur zur Erholung dienten und dass Sie sich kaum jemals entschlossen haben würden, sie niederzuschreiben, und noch weniger sie zu veröffentlichen, so brauche ich nicht zu befürchten, dass Sie es übel vermerken, wenn ich es für Sie thue.« Trotz dieser völlig deutlichen Darstellung der Sachlage hat man immer und immer wieder Papin für den Erfinder des Tellers der Luftpumpe angesehen, weil sich die Abbildung der Huygensschen Maschine, die ihn zuerst aufweist, in Papins Schrift befindet. Sie ist in Fig. 192 reproduziert; man sieht links die ganze Maschine, rechts oben den Kolben, Stiefel und Teller mit dem Rezipienten und die Verbindung des Stiefels mit dem Teller, rechts unten endlich eine Ansicht der oberen Platte mit dem Teller für sich.

Als neu fällt zunächst auf, dass der Teller *TT* seitwärts vom Cylinder angeordnet ist, so dass die Zahnstange *H*, die den Kolben trägt und das sie bewegende Getriebe nebst der Kurbel *SS* oberhalb des Stiefels angebracht werden konnten. Den Stiefel trugen die auf dem Gestelle aufliegenden Stifte *PP*; er hatte bei *M* eine kleine Öffnung, welche leicht mittels des Fingers geschlossen werden konnte. Der durch Drehung des Hebels *QQ* zu bewegendes Hahn *X* sitzt da, wo das Verbindungsrohr *RR* zwischen Teller und Stiefel eintritt. Wird der Kolben gehoben, so wird *M* zugehalten; hat er seine höchste Stellung erreicht, so wird *X* einen Augenblick geöffnet, nach seinem sogleich wieder erfolgtem Schluss der Finger von *M* hinweg genommen und dann der Kolben, der mit einer zwei bis drei Finger dicken Wasserseicht, die darauf gegossen wurde, gedichtet worden war, wieder herab bewegt.

1) Gerland, Wiedemanns Annalen. 1883. XIX. S. 540, und Zeitschrift für Instrumentenkunde. 1891. S. 131.

2) Papin, Nouvelles Expériences du vuide avec la description des Machines qui servent à les faire. Paris 1674. Neu abgedruckt in de la Saussaye et Péan, La vie et les ouvrages de Denis Papin. Paris et Blois 1869. Vgl. Gerland, Wiedemanns Annalen. 1877. II. S. 665.

Nach Papins ausdrücklicher Mitteilung hatte Huygens wegen der so zweckmäßigen Anordnung des Kolbens und der Bequemlichkeit des Pumpens willen die Boylesche Konstruktion verlassen. Wie er berichtet und wir oben mitteilten, war er auch mit der Dichtung des Kolbens sehr zufrieden.

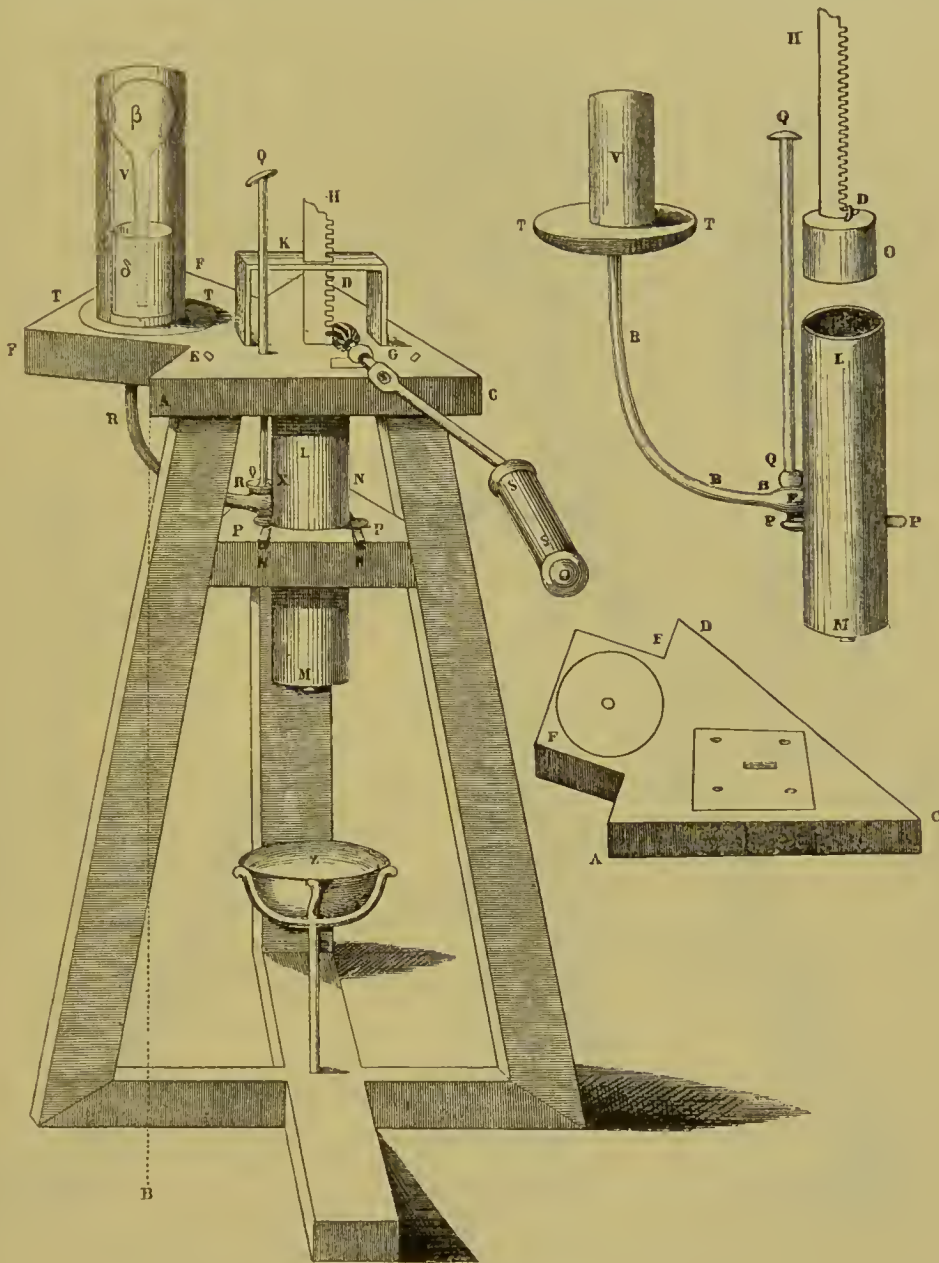


Fig. 192.

Doch scheint es nicht, als ob er den Kolben so hätte dicht halten können, weil er zur althergebrachten Dichtung mit Wasser zurückgekehrt war. Eine zweckmäßigere Form aber erhielt die Barometerprobe. Da Huygens beobachtet hatte, dass von der in ihm gelösten Luft befreites Wasser in dem umgekehrten Glaskolben auch dann noch haften blieb, wenn

es durch den Druck der Luft im Rezipienten nicht mehr im Gleichgewicht gehalten wurde¹⁾, und erst durch Erschütterungen der Masehine zum Herabfallen gebracht werden musste, so fanden es die zusammen arbeitenden Forscher zweckmäßig, das Wasser durch Quecksilber zu ersetzen und anstatt des umgekehrten Glaskolbens eine oben geschlossene Röhre zu verwenden.

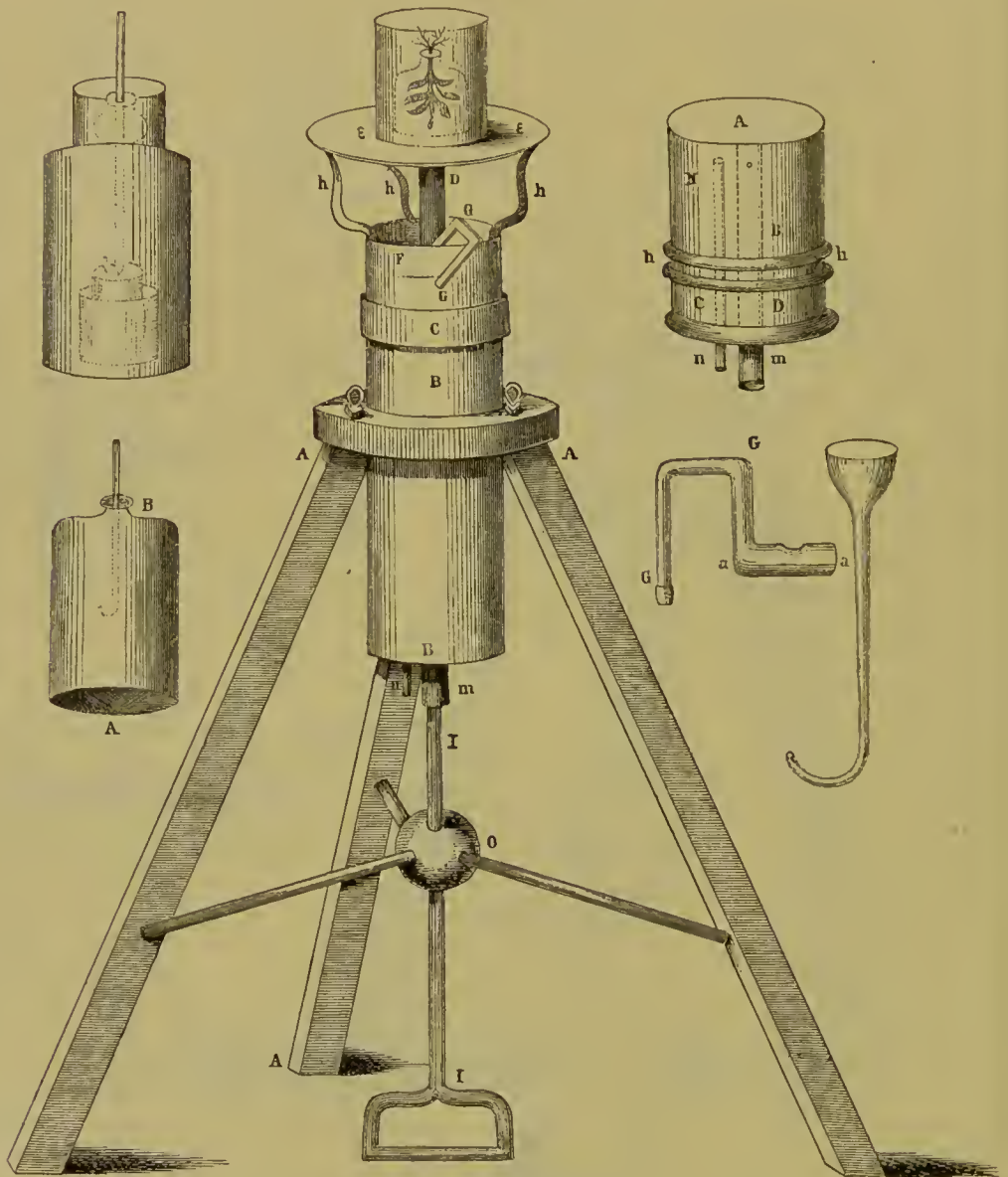


Fig. 193.

Auch bedienten sie sich, um den Rezipienten lange luftleer zu erhalten, mit Vorteil eines Ventiles von Schafleder.

Die Erfahrungen, welche Papin bei dem häufigen Arbeiten mit Huygens' Luftpumpe machte, ließen ihn einige Änderungen anbringen, die zu seiner in Fig. 193 dargestellten neuen Konstruktion führten. Die Kolbenstange

¹⁾ Huygens, Opera varia. IV. S. 770.

ließ er wieder nach unten aus dem Stiefel treten, versah sie aber mit einem Steigbügel, so dass der Pumpende mit dem ganzen Gewicht seines Körpers die Luftleere herstellen konnte. Auch blieben ihm so die Hände frei und das Pumpen war möglich, selbst wenn kein Gehilfe zur Hand war. Den Vorteil der Wasserdichtung wollte aber Papin nicht entbehren, er gab deshalb dem Kolben die oben rechts in Fig. 193 dargestellte Einrichtung. Danach besteht der Kolben aus einem unteren massiven Teil CD und einem oberen, einem hohlen Deckel ähnlichen AB . Die Platte CD hatte oben und unten je einen Wulst, zwischen beide konnte die gewöhnliche Liderung gebracht werden, der Raum unter A wurde dagegen mit Wasser gefüllt, das bei h austretend die Dichtung verbessern konnte. Um die Füllung zu bewerkstelligen, wurde der rechts in der Mitte abgebildete Triichter mit der nach oben gebogenen Öffnung in die untere Öffnung des Rohres Nn gesteckt. Das Wasser drang ein und erfüllte den Raum AB , aus welchem die Luft durch die in m befindliche Öffnung entweichen konnte.

Die wichtigste Verbesserung, die Papin anbrachte, ist der Hahn T , der neben dem Triichter von der Seite hergestellt ist. Sein aus Messing hergestellter Wirbel aa hat eine gewöhnliche Durchbohrung, durch welche der Rezipient mit dem Stiefel und eine Rille, durch welche er oder der Stiefel mit der äußeren Luft in Verbindung treten kann. Die vier dies bewirkenden Stellungen zeigt Fig. 194, wo die Linie mit dem Kreisehen



Fig. 194.

die Kurbel bedeutet. Die erste und zweite Stellung müssen dem Hahn beim Pumpen abwechselnd gegeben werden, dazu hat der Pumpende die Kurbel immer nur um 90° herüber und hinüber zu drehen. Ihre Bewegung konnte leicht durch Aufschlagen des horizontalen Stückes des Kurbelhalses auf den Rand des Cylinders begrenzt werden. Die dritte Stellung schließt Rezipient und Stiefel ab, die vierte setzt den ersteren mit der Atmosphäre in Verbindung. Dies ist der erste doppelt durchbohrte Hahn, dessen Erfindung man so lange irrtümlicherweise Senguerd zugeschrieben hat.

Die Vorteile, welche die Anwendung dieses Hahnes bot, lagen so sehr auf der Hand, dass er auch bei allen späteren Luftpumpenkonstruktionen beibehalten ist. So finden wir ihn zunächst an der wundervoll gearbeiteten Luftpumpe, welche noch eine Zierde des physikalischen Kabinetts der

Universität zu Leiden bildet und deren Bild Fig. 195 in Vorder- und Seitenansicht giebt. Die Einrichtung des Hahnes giebt Fig. 196. Sie weicht insofern von der Papins ab, dass an die Stelle der Rille eine Durchbohrung getreten ist. Der Teller ist bequem auf einem Tische angebracht,

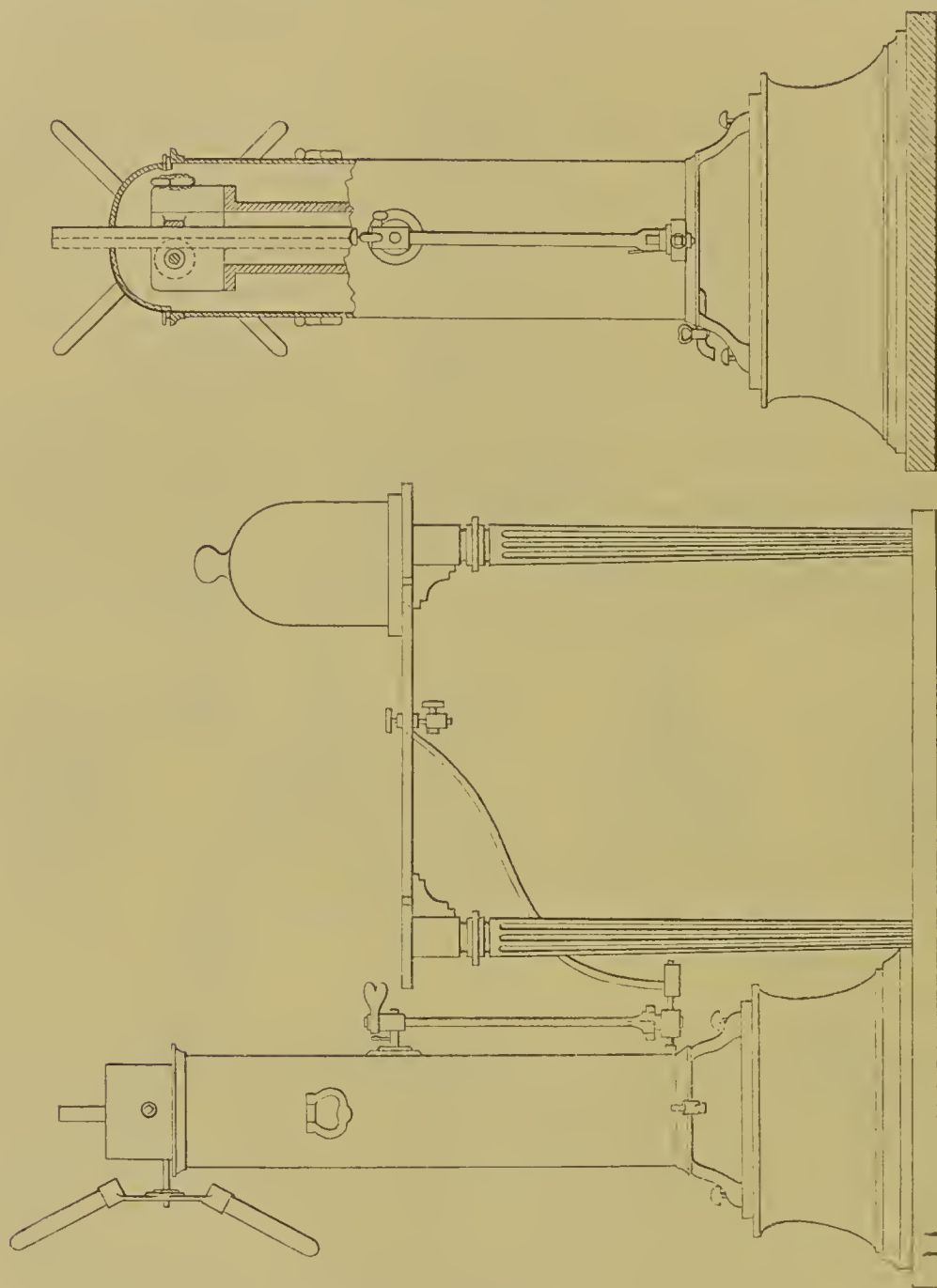


Fig. 195.

der Hahn, wie bei Huygens' Luftpumpe durch einen Schlüssel mittels langer Stange zu bewegen. Der Stiefel befindet sich in einem (rechts zum Teil aufgeschnitten dargestelltem) Gehäuse von poliertem Messing, welches der besseren Dichtung des Kolbens wegen nach Abnahme des

Deckels mit Wasser oder besser mit Öl gefüllt werden konnte, das ein Hahn unten wieder abzupfen erlaubte. Besonders bemerkenswert ist die schöne Ausstattung der ganzen Maschine und sie dürfte den Beweis für die hohe Entwicklung, die die mechanische Kunst damals bereits in den Niederlanden erreicht hatte, liefern. Sie wurde ein Jahr nach Papins Veröffentlichung seiner Erfindung des doppelt durchbohrten Hahnes, also 1675 von Samuel van Musschenbroek (1639—1682) nach der Angabe de Volders' (1643—1709) gebaut. Es verdient bemerkt zu werden, dass van Musschenbroek wie Huygens nicht mehr das Bedürfnis empfanden, ihre Hähne durch Einsetzen in Wasser zu dichten. Auch das spricht für die Güte der mechanischen Ausführung ihrer Maschinen. Auch kleinere Luftpumpen dieser Art, die man auf einen Tisch setzte, scheint Samuel van Musschenbroek gebaut zu haben ¹⁾.

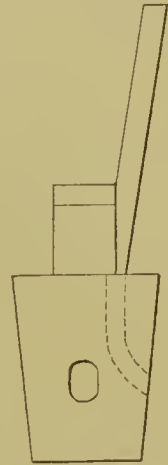


Fig. 196.

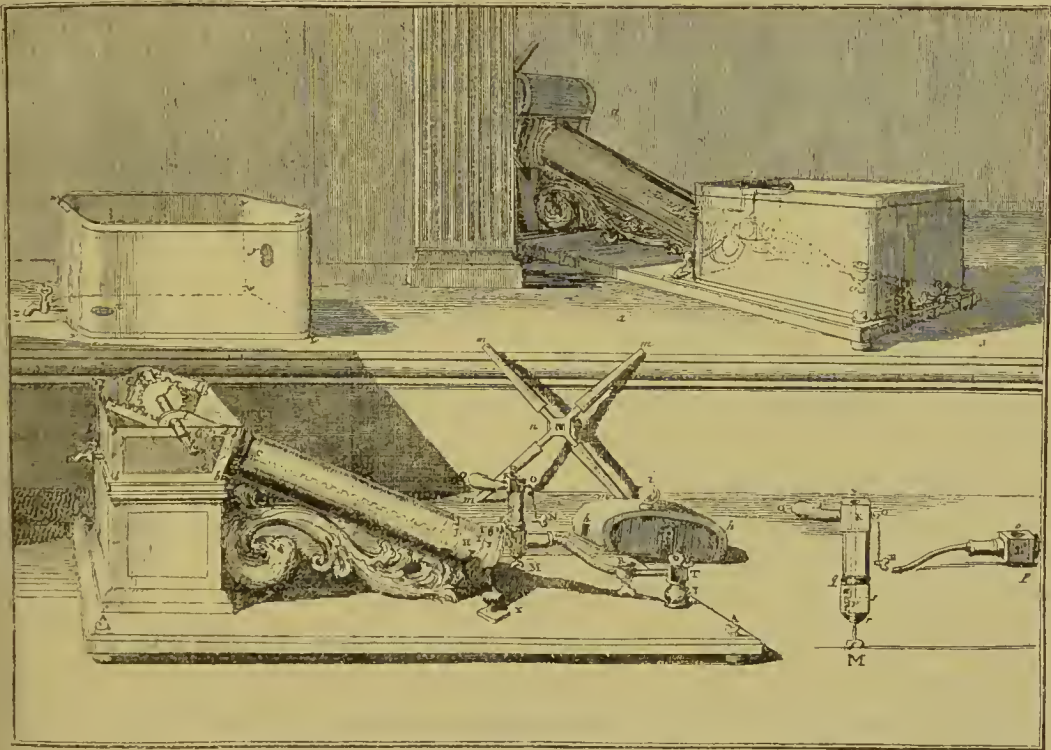


Fig. 197.

Handlicher noch ist die Form, die kurz darauf, im Jahre 1679 Senguerd²⁾ (1646—1724) der Luftpumpe gab und die Fig. 197 vorführt. Sie ist von Jan van Musschenbroek (1687—1748), dem Neffen Samuels gebaut und erwies sich als so bequem, dass der genannte mechanische

1) Senguerdii Philosophia naturalis. Lugd. Bat. 1685. 2. Ed. S. 88.

2) Senguerd, a. a. O.

Künstler eine sehr große Zahl davon hergestellt hat, dass sie in keiner größeren Sammlung älterer Apparate fehlt. Der Stiefel liegt schief, der Kolben wird durch Zahnstange und Getriebe bewegt. Der doppelt durchbohrte Hahn ist am unteren Ende des Stiefels angebracht; er ist in der Nebenfigur unten rechts noch einmal abgebildet. Der Stiefel mündet in ein mit Deckel versehenes Gefäß, in das Wasser gegossen werden kann; ebenso wird, wie die Figur rechts oben zeigt, der Hahn und das den Teller tragende Rohr in einen Kasten eingeschlossen, der mit Wasser zu füllen ist. Die Austrittsöffnung des Halmes kann mit einem Stöpsel verschlossen werden, welcher an einem Kettchen befestigt ist, so dass er nicht in Verlust gehen kann. Außer Musschenbroek fertigte auch der Leipziger Mechaniker Leupold¹⁾ (1674—1727) solche Luftpumpen an und empfahl sie 1707 in einer besonderen Schrift seinen Kunden. Einen Fortschritt gegen die früheren zeigen die beiden van Musschenbroekschen Luftpumpen nicht. Sie waren zweckmäßig angeordnet, keiner ihrer Teile aber weitergebildet.

Neue Konstruktionen gab wieder erst Papin. Er hatte sich 1674 oder 1675 nach London begeben und war dort zu Boyle in ein ähnliches Verhältnis getreten, wie er es in Paris zu Huygens gehabt hatte. Und wieder waren es Versuche mit der Luftpumpe, mit denen er sich beschäftigte, aber es fällt sogleich auf, dass er einen anderen Weg einschlug, wie der war, den ihm Huygens vorgezeichnet hatte. Hatte der letztere alles Gewicht darauf gelegt, die Dichtung mit Wasser durch sorgfältige Herstellung des luftdichten Verschlusses des Rezipienten und des Kolbens zu ersetzen, so hatte Papin die Wasserdichtung, allerdings in einer Form, in der sie auf die zu erhaltende Luftleere keinen allzu ungünstigen Einfluss ausübte, wieder aufgenommen. Nun aber gab er sogar auch die Dichtung des Rezipienten mit Luftpumpenfett auf und da er dafür nur den Grund angab, es sei unnötig, dass sich der Experimentator die Finger beschmutze, so muss er bei dem einzelnen Hube einen unvergleichlich viel geringeren Grad der Luftverdünnung erhalten haben, wie Huygens. Darans aber den Schluss zu ziehen, dass Papin auf eine möglichst vollkommene Luftleere nicht den entsprechenden Wert gelegt habe, würde ganz falsch sein. Papin suchte sie auf einem anderen Wege zu erreichen, sei es, dass ihm nicht so tüchtige Künstler zur Verfügung standen, wie es die holländischen Mechaniker waren, sei es, dass ihm der Weg, den er einschlug, als der einfachere erschien. Wenn man darauf verzichten muss, so mochte er überlegen, die Luft von dem Eintritt in den Rezipienten abzuhalten, dann ist es doch noch möglich einen luftleeren Raum zu erhalten, wenn man ununterbrochen weiter pumpt und bei jedem Hube etwas mehr Luft wegschafft, als eindringen konnte. Sollte aber längere Zeit hindurch der Experimentator pumpen, so musste das mit größter Bequemlichkeit geschehen können, seine Hände musste er frei behalten und sich nicht mit

1) Leupold, *Antlia pneumatica illustrata*. Leipzig 1707.

Überlegung quälen müssen, ob der Hebel, der den Hahn bewegte, nach rechts oder links zu stellen sei. Dies erreichte Papin mit der in Fig. 198 dargestellten Form der Luftpumpe, der Ventilluftpumpe, welche in freilich viel vollkommenerer Einrichtung auch jetzt noch die häufigst angewandte ist. Die Pumpe hat im Gegensatz zu allen früheren zwei Stiefel, von denen der eine dann die Luft aus dem Rezipienten pumpt, wenn der andere mit der Atmosphäre in Verbindung steht. An einer Sehnur, die über die Rolle *A* geht, hängen die Kolben unterhalb der beiden Trittbretter *B*, auf welche der Experimentator sich abwechselnd stellt. An ihren Bodenflächen sind beide Stiefel mit Ventilen versehen, welche sich nach innen öffnen und die Rohre *C* abwechselnd abschließen. Ebenso enthalten die durchbohrten Kolben Ventile. Es bestehen diese Ventile aus viereckigen Stückerhen Lammsleder, welche über die Öffnung gespannt und an zwei gegenüberliegenden Seiten befestigt sind. Durch den von unten wirkenden Druck der Luft werden sie etwas gehoben und diese kann entweichen. Die beiden Rohre *CC* vereinigen sich zu einem dritten *DD*, welches im Teller *E* unter dem Rezipienten mündet. Mit dieser Maschine war ein fortgesetztes Pumpen möglich, während der Experimentator zugleich alles, was sich unter dem Rezipienten ereignete, gut beobachten konnte¹⁾.

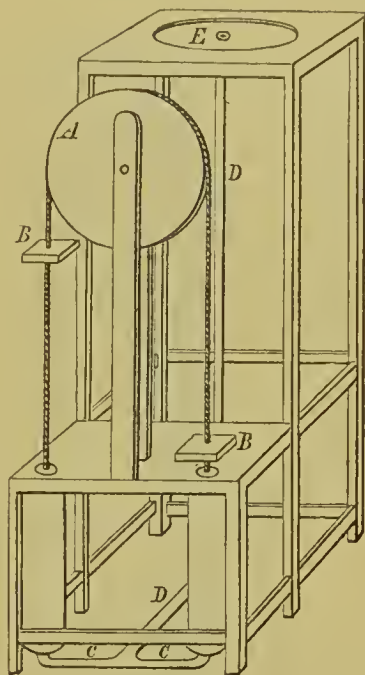


Fig. 198.

Die Luftpumpe mit zwei Stiefeln ist also nicht, wie man gewöhnlich findet, zuerst 1709 von Hawksbee angegeben²⁾. Auch der Anwendung der Ventile begegnen wir hier wohl zuerst. Solche hatte übrigens auch 1676 Sturm³⁾ (1635—1703) an der ersten Gueriekesehen Luftpumpe angebracht, indem er den Stift Gueriekese weg gelassen und durch ein im Kolben angebrachtes Ventil ersetzt hatte. Die Kolbenstange hatte er hohl gemacht und an ihrem oberen Ende mit einer kleinen Öffnung versehen, aus welcher die Luft entweichen konnte. Ob die Sturmsehe oder die Papiusehe Ventilluftpumpe die ältere ist, ist bisher nicht festzustellen gewesen, die Ventile dürften aber eine der Erfindungen Papins sein, da er sie bereits früher mehrfach verwendet hatte.

1) Die Luftpumpe ist abgebildet in Boyle, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. I.

2) Fischer, Physikalisches Wörterbuch. III. Göttingen 1800. S. 379.

3) Sturm, Collegium curiosum. Norimbergae 1676. S. 100.

Mit dieser ganz neuen Form der Luftpumpe hat Papin das Verhalten einer großen Zahl von Körpern im luftleeren Raume studiert. Dabei musste der Umstand, dass infolge der Spannung der Ventile nur ein geringer Grad der Verdünnung zu erreichen war, sich sehr bald in hohem Grade störend

bemerklich machen. Ihm war nur abzuhelpen, wenn man die Ventile steuerbar machte. Das suchte Papin mit der in Fig. 199 abgebildeten Luftpumpe zu erreichen, welche er 1687 in einer besonderen Schrift und in einem Auszug daraus in den *Actis Eruditorum* beschrieb¹⁾.

Die Anordnung der einzelnen Teile und die Einrichtung des Kolbens ist die nämliche, welche wir bei der Luftpumpe von 1674 bereits kennen gelernt haben. Aber die Verbindung des Tellers mit dem Stiefel und die Form des oberen Teiles des letzteren ist eine gänzlich andere geworden. Sein Deckel *B* ist schief gelegt und an seinem oberen Teile mit einem sich nach außen öffnenden Ventil *C* versehen. Das Verbindungsrohr *HH* des Tellers *GG* mit dem Stiefel durchdringt den Deckel *B*, hat bei *F* eine durch einen Stift verschließbare Öffnung und ist unten durch das Ventil *I* abgeschlossen. Mittels der nach außen gehenden eisernen Stange *MM*, die bei *L* mit Wachs gedichtet ist, kann das Ventil nach Belieben geöffnet und geschlossen werden, für gewöhnlich drückt es das am Ende von *M* hängende Gewicht *N* zu. Soll die Luftpumpe in Gebrauch genommen werden, so wird der Kolben *ZZ* so

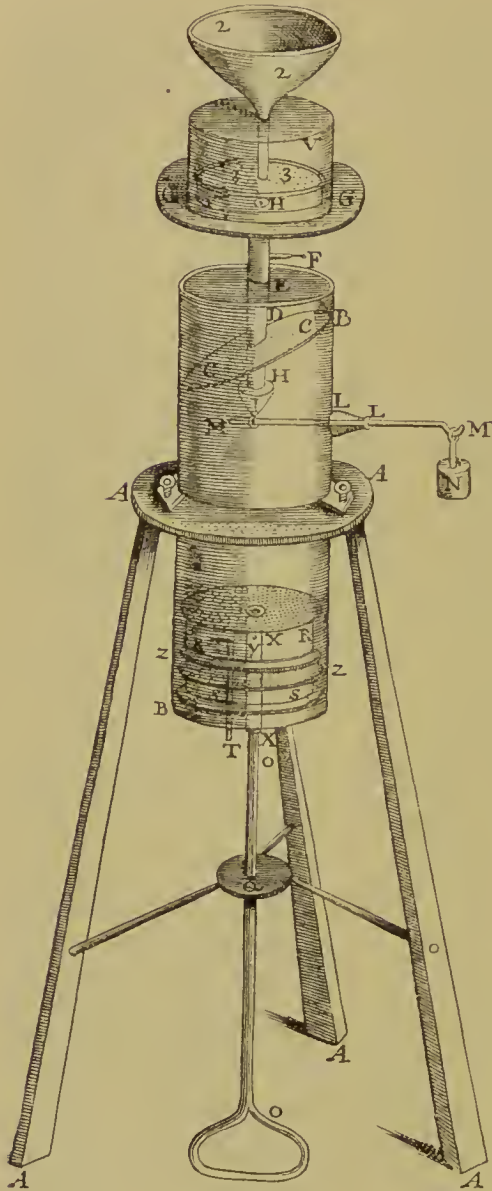


Fig. 199.

hoch wie möglich geschoben, dann das Ventil *I* geöffnet und mit Hilfe des Trichters *22* der Raum zwischen Kolben und Deckel mit Wasser gefüllt. Auch in den Raum über den Deckel wird Wasser gegossen. Zieht man

1) Papin, *Augmenta quaedam et experimenta nova circa antliam pneumaticam facta partim in Anglia, partim in Italia, communicata a Dionys. Papino*. Londini 1687. — *Acta Eruditorum* 1687. S. 324.

man nach aufgesetztem Rezipienten den Kolben herab und öffnet das Ventil, so kann sich nach Papins Ansicht die Luft frei ausdehnen. Ist der Kolben an seiner tiefsten Stelle angelangt, so wird *I* geschlossen und die Luft, indem sich *C* bei wieder emporgedrückten Kolben öffnet, ausgetrieben, worauf von neuem gepumpt werden kann. Durch Herausziehen des Stiftes *F* kann alsdann wieder nach Belieben Luft in den Rezipienten gelassen werden.

Papin hatte richtig erkannt, dass das den Luftaustritt aus dem Rezipienten regelnde Ventil gesteuert werden müsse, während das der Luft den Austritt gewährende, wegen des unter ihm immer kräftig genug werdenden Luftdruckes dies nicht nötig hat. Die Luftpumpe von 1687 weist also bereits alle Elemente der Deluilschen Luftpumpe freilich in noch ungeschickter Zusammenstellung auf. Dagegen lässt die Dichtung bei *L* mit Wachs zu wünschen übrig, wenn er sie auch bei anderer Gelegenheit verwendete, um einen in den Rezipienten reichenden bewegbaren Draht zu dichten. Völlig fehlerhaft erscheint die Benutzung von Wasser in einem Raum, der mit dem leer zu pumpenden in Berührung stand. Man ersieht daraus einmal, wie wenig klar Papin damals noch über das Wesen des Dampfes war und zum anderen, dass er nicht sehr hohe Ansprüche an den luftleeren Raum unter dem Rezipienten stellte.

6. Papins Anwendungen der Luftpumpe für technische Zwecke.

Papins Bestrebungen, die Errungenschaften der Physik in möglichst ausgiebiger Weise auch für die Technik nutzbringend zu machen, Bestrebungen, die Leibniz mit ihm teilte und die ihn zur Erfindung der Dampfmaschine führen sollten, traten bereits bei diesen Versuchen, die Luftpumpe zu verbessern, in solchem Maße hervor, dass es fast den Anschein hat, als habe er nur zu derartigen Zwecken die Luftpumpe verbessern wollen.

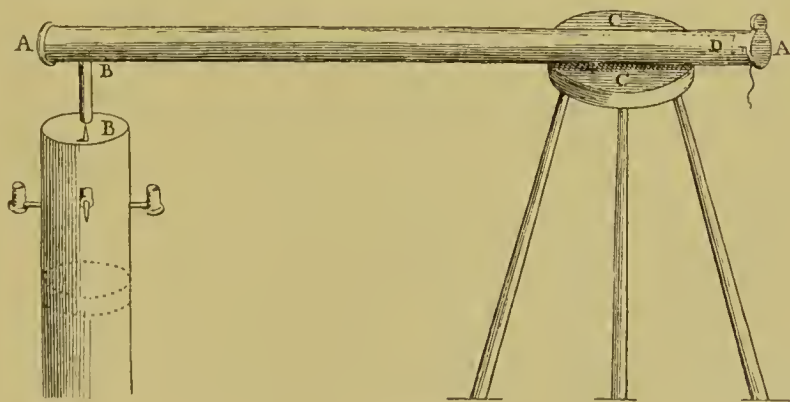


Fig. 200.

Zunächst änderte er die Windbüchse, wie es Fig. 200 zeigt, in der Weise, ab, dass er anstatt des luftleer gemachten Rezipienten die Luft-

pumpe selbst an das Rohr anlegte. Über dem Rezipienten ist das Rohr durch eine Klappe, auf der anderen Seite durch ein Ventil verschlossen, hinter die Klappe wird die Kugel hereingebracht, die das Rohr abschließt. Ist das geschehen, so wird das Rohr ausgepumpt, die Luftpumpe abgesperrt und nun die Klappe geöffnet, der Luftdruck treibt dann die Kugel durch das Rohr, aus welchem sie, das Ventil aufschlagend, mit großer Geschwindigkeit entweicht¹⁾.

Brauchbarer für den nämlichen Zweck war die Windbüchse, die er bereits 1674 konstruierte und dabei als treibende Kraft die Expansion komprimierter Luft benutzte. Ganz neu war diese Art der Windbüchse nicht mehr. Aller Wahrscheinlichkeit nach war sie bereits um die Mitte des 16. Jahrhunderts von dem Nürnberger Mechaniker Hans Lobsinger er-

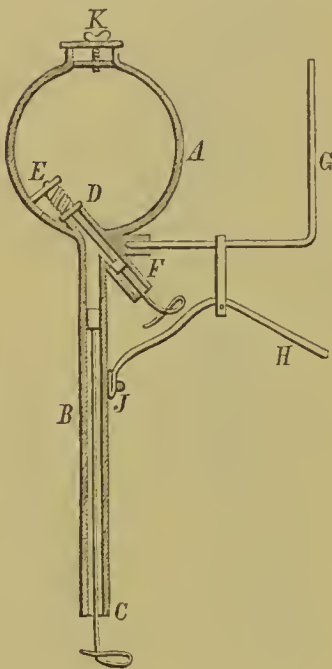


Fig. 201.

funden; erst als das Interesse an der Luftpumpe erwacht, suchte man auch die Windbüchse mehr und mehr zu verbessern. Zu allgemeinerer Anwendung ist sie wohl außer bei dem Aufstande der Tiroler gegen Napoleon I. nie gekommen. Die Windbüchse²⁾, die in Fig. 201 abgebildet ist, konnte zugleich als Kompressionspumpe benutzt werden. Der Lauf diente als Pumpcylinder, und es konnte zu diesem Zwecke ein massiver Kolben in ihm hin und her bewegt werden. In der Nähe seines offenen Endes C hatte er eine kleine Öffnung zur Aufnahme von Luft. Den Verschluss des Laufes nach dem Rezipienten A hin bildete eine durch eine Feder E an die Öffnung des Rohres DF angepresste Klappe D. In diesem Rohre bewegt sich ein kleiner Kolben, durch den ein dicker Eisendraht geht, welcher mit einem Ende an der Platte befestigt, am anderen zu

einer Schlinge umgebogen ist. Ist nun der Rezipient mit zusammengepresster Luft gefüllt, so wird der Kolben aus BC herausgezogen und die Kugel in den Lauf gestoßen, alsdann das Gewehr mit der seitlich angebrachten Platte G auf die Schulter gelegt und nun plötzlich auf die Ventilstange mittels einer Feder JH, die für gewöhnlich von einer Schlinge gehalten nun plötzlich losgelassen wird, ein Stoß ausgeübt. Dadurch wird die Platte D einen Augenblick abgedrückt und die dabei heraustretende Luft treibt die Kugel vor sich her. Dem Ventil gegenüber ist ein besonderer Schraubenverschluss angebracht, der sein bequemes Einsetzen und besseres Dichten ermöglicht.

1) Papin, Philosophical Transactions 1686. XV. No. 179. S. 21.

2) Birch, History of the Royal Society. III. Vgl. Boyle, Experimentorum novorum Physico-Mechanicorum continuatio secunda. Genevae 1682. Icon. II. Fig. 4.

Die Lösung einer Aufgabe, welche der bereits mehrfach erwähnte württembergische Rat Reisel »denen Curiosis« vorgelegt hatte, ließ Papin 1684 das Prinzip der Sprengelschen Quecksilber- und Bunsenschen Wasserluftpumpe aussprechen. Reisel hatte verlangt, einen Heber zu konstruieren, an dessen höchste Stelle das Wasser abgelassen werden könne, Papin¹⁾ übersah sofort, dass dies mit Hilfe der an der höchsten Stelle des Hebers stattfindenden Druckverminderung möglich sein müsse. Er brachte also daselbst ein Gefäß an, welches oben durch ein mittels eines Hahnes verschließbaren Rohres mit dem Heber, unten durch ein ebensolches mit der äußeren Luft in Verbindung gesetzt werden konnte. Öffnete er, während der Heber in Thätigkeit war, den oberen Hahn, so wurde die Luft aus dem Gefäße mitgerissen, es drang Wasser dafür ein; nach Schluss des oberen Hahnes konnte er es durch den unteren herauslassen. Hätte er statt des Heberrohres ein gerade gestrecktes verwendet, so wäre der Apparat eine Wasserluftpumpe gewesen.

Indessen hatte die Technik damals dasselbe Prinzip im großen, aber zu entgegengesetztem Zwecke angewendet, zum Betriebe von Gebläsen. Den Apparat fand Pape in den Hüttenwerken von Tivoli im Gebrauche, und berichtete²⁾ darüber 1665 an

Wilkins. Die dazu gehörige Figur ist in Fig. 202 wiedergegeben. *A* ist ein Fluss, der in das senkrechte Rohr *BCD* geleitet ist und, unten austretend, zugleich einen breiteren Raum einnimmt. Von *BCD* geht ein seitliches Rohr mit der durch einen Stöpsel *F* verschließbaren Öffnung *E* ab, aus dessen Ende *K* ein kräftiger Luftstrom hervortritt, welcher den Ofen mit Wind versorgt.

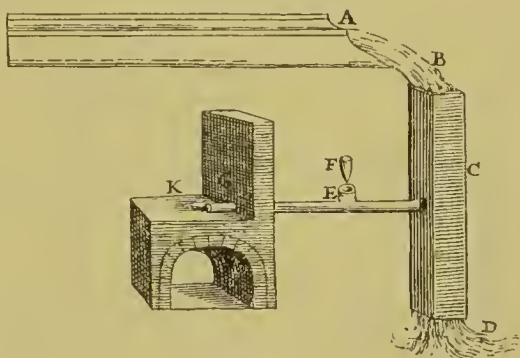


Fig. 202.

Wird *F* geöffnet und *K* geschlossen, so tritt er aus *E* hervor. Es ist die vom Bache auf dem Wege *AB* mitgerissene Luft, die emporzusteigen strebt. Sie benutzt demnach jeden Ausweg. Zu allgemeinerer Verwendung war aber dies Gebläse nicht gekommen.

Aber auch Papins Idee blieb damals, was sie war, ein schöner Gedanke, den erst die Neuzeit wieder selbständig aufgenommen hat. Nicht besser ging es mit zwei anderen Maschinen, bei denen er die Luftpumpe zu verwenden gedachte. Nicht als ob die Aufgaben ungeschickt gewählt gewesen wären, aber die zur Verfügung stehenden Mittel reichten zu ihrer Lösung nicht aus, die erst unserer Zeit gelungen ist. Es handelte sich um keine geringeren Probleme als die Erzeugung starken Druckes zum

1) Papin, Philosophical Transactions. Nov. 1684. No. 167. S. 847.

2) Philosophical Transactions. Vol. I. 1665. No. 2. S. 21.

Auspressen von Öl u. s. w., und die Arbeitsübertragung auf größere Entfernungen. Die Presse¹⁾ zeigt Fig. 203. Ihre Konstruktion ist ohne weiteres klar; sie lässt erkennen, dass sie untauglich war, Gegenstände zusammen zu drücken, aber sehr brauchbar, wenn es sich um das Auspressen von Flüssigkeiten handelte. Jedenfalls stellt sie einen wichtigen Fortschritt gegen die damals allein übliche Schraubenpresse dar, deren Fehler Papin in der zu großen Reibung, in dem Umstande, dass bei stärkerem Anziehen die Schraube an Kraft verliert, und in der zu großen Druckfläche erkannt hatte.

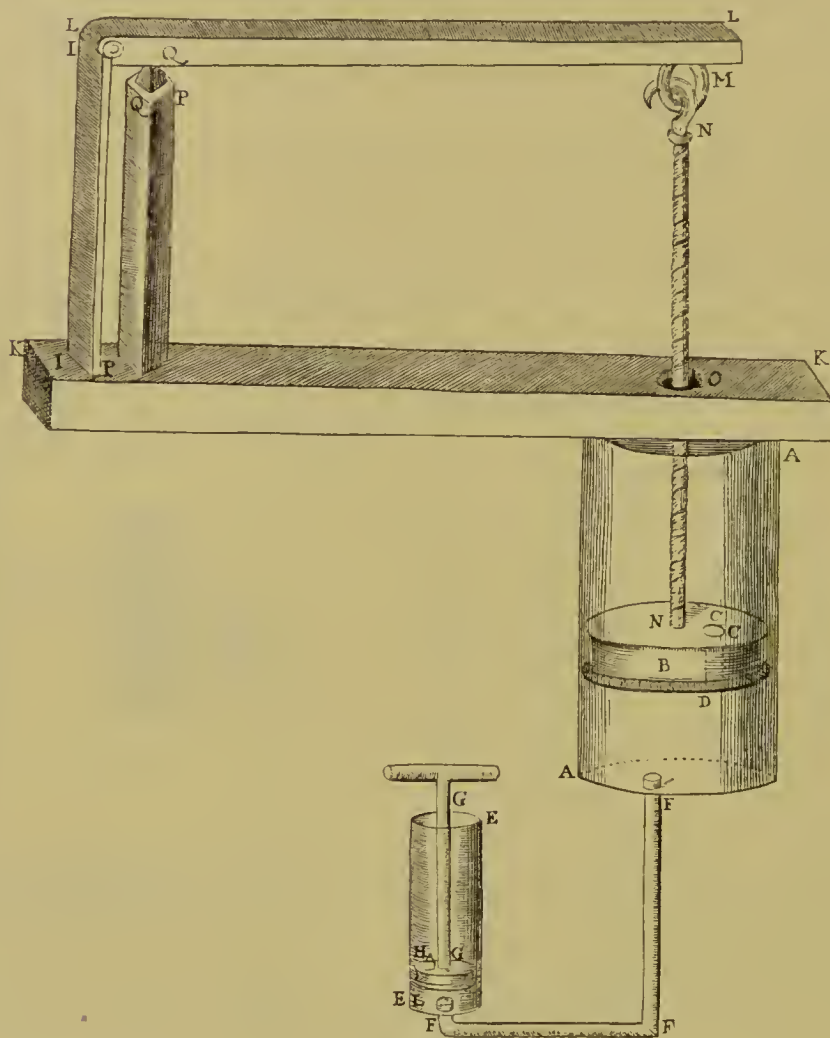


Fig. 203.

Den Plan, Arbeit auf größere Entfernungen zu übertragen, hatte Papin bereits im Jahre 1685 gefasst, einen verbesserten Entwurf legte er 1688 der Royal Society vor²⁾. Von den bisherigen besprochenen Vorschlägen

1) Birch, History of the Royal Society. IV. S. 529.

2) Papin, Nouvelles de la Republique des Lettres 1688. X. S. 1308. Acta Eruditorum 1688. Dec. S. 644. Recueil de diverses Pièces touchant quelques

zur Ausnutzung der Luftpumpe unterschied sich dieser dadurch, dass er eine technische Aufgabe von großer Wichtigkeit zu lösen unternahm. Sein Urheber unterbreitete ihn dem Grafen Solms-Braunfels als ein Mittel, die Grubenwässer eines von dessen Bergwerken mit Hilfe der Kraft, die ein nicht zu entfernter Bach liefern sollte, zu bewältigen. Wie dies geschehen sollte, zeigt Fig. 204. Die zweimal gekröpfte Welle *PP* des Wasserrades *GG* sollte eine Ventilluftpumpe mit zwei Stiefeln *OR* treiben, die die Luft aus dem Rohre *R* zu pumpen hatten. An dem Orte, wo gepumpt werden sollte, endete es in dem Vierweghahn *SS*, von dem die beiden Rohre *NN* und *MM* zum Boden der Cylinder *JJ* und *LL* gingen und abwechselnd den einen mit der Luftpumpe, zugleich den anderen mit der äußeren Luft in Verbindung setzten. Der eine der in diesen Cylindern sich bewegenden Kolben wurde dadurch herabgezogen und erteilte der Welle *DD* und dem auf ihr sitzenden Rade *AA* mittels der darum geschlungenen Seile *FF* eine hin und her

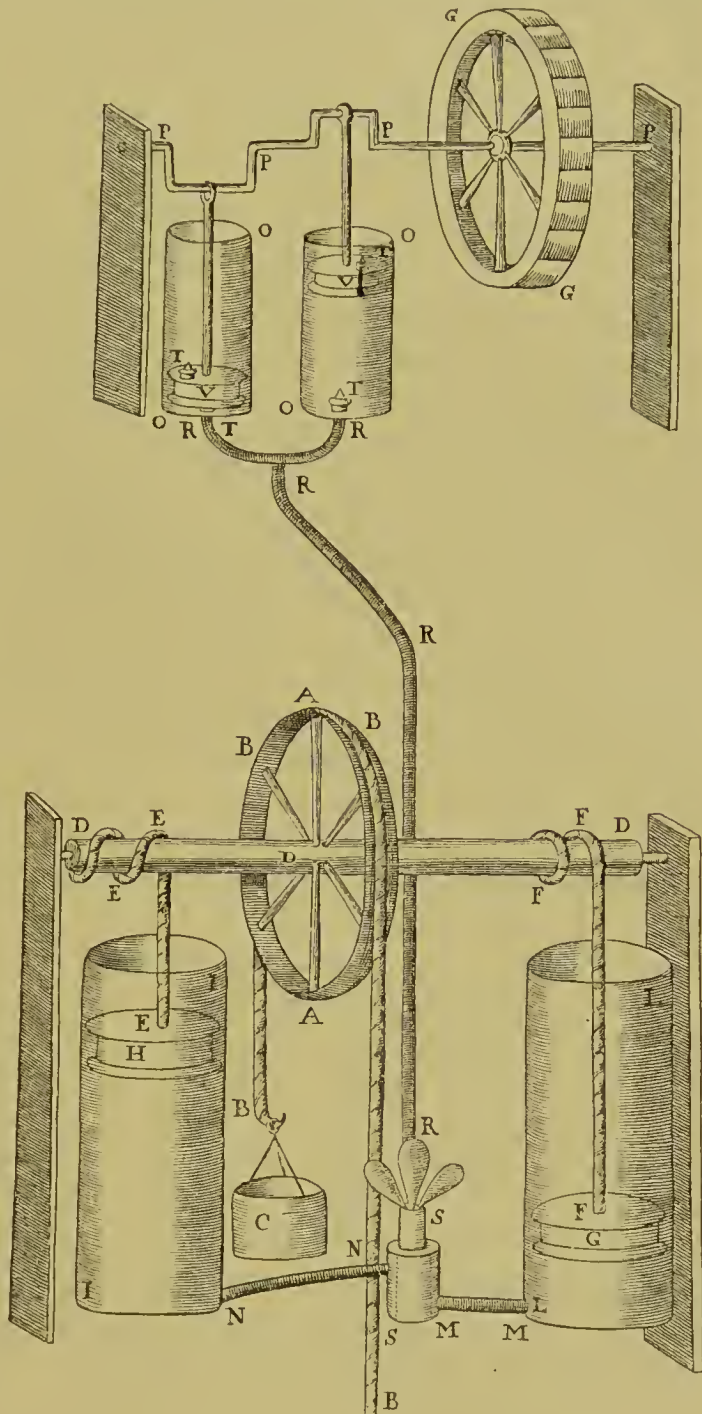


Fig. 204.

nouvelles Machines. No. 3. Cassel 1695. Fasciculus dissertationum de novis quibusdam machinis atque aliis argumentis philosophicis. Marp. 1695.

gehende Bewegung. Über das Rad war das Seil *BB* gelegt, an dessen Ende die Eimer *C* hingen, von denen der eine gefüllt nach oben, der andere zugleich leer nach unten ging. So sprach hier Papin zum erstenmale eine Idee aus, die, wenn auch unvollkommen, doch zu seiner Zeit zu verwirklichen gewesen wäre, die jetzt unter Anwendung von Pressluft und namentlich mit Elektrizität häufig durchgeführt worden ist.

7. Leibnizens Plan zur Wältigung der Grubenwasser. Die Fenerspritze.

Der eben dargelegte Plan Papins lässt die Schwierigkeiten recht vor Augen treten, welche der Bergbau seiner Zeit, die kräftige Bewegungsmaschinen nur in den Flügeln der Windmühlen und den Wasserrädern besaß, zu überwinden hatte. Nur mit Hilfe der letzteren konnten die Grubenpumpen betrieben werden, und das Andringen der Grubenwasser machte den Abbau unmöglich, wenn das Aufschlagwasser für die die Pumpen treibenden Räder fehlte. Mit sohelem Mangel hatten gegen Ende des 17. Jahrhunderts nicht selten die Werke des Oberharzes zu kämpfen und Leibniz, der großes Interesse an ihnen nahm, war ernstlich darauf bedacht, diesen Übelständen abzuhelpen. Er kam 1678 auf den Gedanken, mit Hilfe von Windmühlen das Wasser aus einem niedrig gelegenen Behälter zu heben, so oft der Wind dies möglich machte, und das so gewonnene Gefälle von neuem zu benutzen. Aber er hielt diesen Gedanken so lange geheim, bis er die Erlaubnis, seine Versuehe anzustellen, und die Zusicherung, dafür eine von den Werken zu leistende Zahlung zu bekommen, erhalten hatte. Da er aber vorher einleitende Schritte bei der Bergbehörde hatte thun müssen, dabei auch von Windmühlen die Rede gewesen war, so hatte er zu dem Missverständnisse Veranlassung gegeben, es handle sich bei seinem Plane nur darum, die Schachtpumpen statt wie bisher durch Wasserräder, durch Windmühlen treiben zu lassen. Als er dann endlich mit seinem wahren, schönen Gedanken hervortrat, konnte man sich von seiten der Bergbehörde nicht sogleich darein finden und bestand hartnäckig darauf, dass Leibniz den Versuch, die Pumpen durch Windmühlen treiben zu lassen, zuerst ausführe. Mochte diese Hartnäckigkeit wohl zum Teil in der gewiss etwas kränkenden Weise, in der Leibniz die Sache der Bergbehörde gegenüber behandelt hatte, ihre Erklärung finden, die letztere hoffte auch so der lästigen Auflage, Leibniz eine lebenslängliche »Ergötzlichkeit« zu zahlen, zu entgehen. Diesem blieb nichts anderes übrig, als den Versuch auszuführen, der mißlang, und auch hätte mißlingen müssen, selbst wenn der Wind glimpfliher mit den Windmühlenflügeln, die er teilweise zerstörte, verfahren wäre, oder man ihm weniger Schwierigkeiten von der Gegenseite gemacht hätte, denn die Windmühle kann man nur benutzen, wenn der Wind weht, zum dauernden Wasserheben bedarf man aber einer ganz gleichmäßig, ohne Stoß wirkenden Kraft. Die vielen

Argernisse bei diesen Versuchen nahmen aber beiden Teilen, je länger, je mehr, die Lust an ihrer Fortsetzung, zur Ausführung der eigentlich von Leibniz geplanten kam es überhaupt nicht mehr, und beide Teile waren froh, als auf herzoglichen Befehl am 5. April 1685 die Arbeiten gänzlich eingestellt wurden¹⁾.

Nicht besser ging es mit einem anderen Plane, dessen Ausführung Leibniz 1685 unternahm und der die zum Heben der Grubenwasser benutzten Wasserräder zugleich zum Heben der Erze benutzen wollte²⁾. Für eine Geschichte der Experimentierkunst haben sie jedoch ein viel untergeordnetes Interesse, wie die Versuche mit der Windmühle, und das um so mehr, als Leibniz sie nicht wie jene zum Ausgangspunkte neuer wichtiger Pläne gemacht hat. Nach einem so ärgerlichen Mißlingen hätten wohl wenige Menschen die ganze Angelegenheit nicht verdrießlich bei Seite geschoben. Dass sich Leibniz so ganz anders benahm, lässt besser wie alles andere die Elastizität und Fruchtbarkeit seines Geistes erkennen. Er ruht nicht, bis er über den Grund des Mißlingens klar geworden ist, bis er einen neuen Plan ausgearbeitet hat, der besseres verspricht. Am 5. April 1685 waren die Versuche eingestellt, in seinen Papieren in der Bibliothek zu Hannover findet sich bereits unter dem Datum des 20. April ein Blatt, welches die Aufschrift trägt: »Windmühlen, so das Wasser bei Bergwerken aus tiefen Gruben ziehen sollen«, und welches gleichsam als Devise die zugefügten Worte trägt: »Habe es besser ausgesonnen«. Das Blatt enthält aber die Ideen zweier Erfindungen, die die Maschinenkunde längst von neuem gemacht hat.

Der neue Vorschlag geht dahin, »dass der primusmotor nicht immediate das Feld- und Grubengestänge bewege, sondern nur eine gewisse Last in die Höhe hebe, welche von selbst wieder niedergehe und dadurch das Gestänge ziehe. Denn dergestalt bleibt der Zug allezeit gleich, weil einerlei pondus, so allezeit einerlei resistenz findet, auch allezeit gleich geschwinde hinabgehet; hingegen nachdem der Wind schwach oder stark, kann man solehes pondus geschwind oder langsam wieder in die Höhe heben und aufziehen und also noch mit sehr gelinden, so fast allein capabel die Flügel und Wellen umbzutreiben operieren doch jedesmal in gewisser Zeit weniger oder öfter nach proportion der Kraft des Windes. Und kan man dergestalt auch geringen Wind soviel es möglich zu Nuze bringen und doch einen gleichförmigen Zug erhalten, dessen Ermangelung das einzige so bisher die vorteilhafte Application der Windkräfte bei Bergwerken verhindert haben mag«.

1) Calvörs historisch-chronologische Nachricht und theoretische und praktische Beschreibung des Maschinenwesens und der Hilfsmittel auf dem Bergbau bei dem Oberharze. 1763. S. 105 ff. — von Trebra, Des Hofraths von Leibnitz misslungene Versuche an den Bergwerksmaschinen des Harzes in dessen Bergbankunde. 1789. I. S. 312 ff.

2) von Trebra, a. a. O. II. S. 299.

Auf mehrere Weisen könnte diese Idee praktisch ausgeführt werden. Man könne z. B. eine schief liegende kreisförmige Scheibe, welche an der von den Windmühlenflügeln gedrehten senkrechten Welle befestigt ist, benutzen, um durch sie in Führungen gehende Stangen herabzudrücken, die dann wieder auf die kurzen Enden zweier ungleicharmiger Hebel drücken und dadurch deren lange und schwere Enden heben. Wieder herabsinkend sollten diese auf den einen oder anderen Arm eines zweiten Hebels wirken und so abwechselnd die Kolben zweier Pumpen

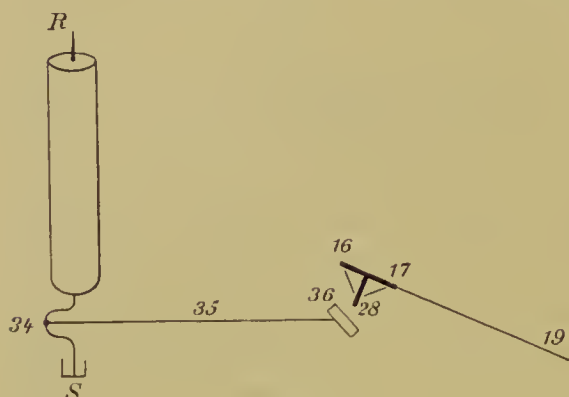


Fig. 205.

heben. Im Verlaufe seiner Überlegung kam Leibniz jedoch auf die einfachere Idee, die er in einer in Fig. 205 wiedergegebenen Zeichnung niedergelegt hat und folgendermaßen erläutert¹⁾. »Der krumme Zapfen 34 schiebet den Bleyel 34 35 zum Hause²⁾ hinaus, also er unter den Windmühlenflügeln hinget. Dieser Bleyel stoßet mit der rolle 36 auf das halbe Kreuz bey 28 und bewegt damit den langen Baum 17 19 in

die Höhe, im Rückgehen gehet der Bleyel mitsamt der rolle 36 etwas auff die seite und einen anderen Weg, als er kommen und hindert dahehr nicht das 28 wieder durch Niedergehen des langen Baumes zurückgehe. Gedachte Rolle 36 treibet im Rückgehen das halbe Kreuz des andern langen Baumes« (der nicht gezeichnet ist)³⁾.

Mit dieser im allgemeinen ausgesprochenen Idee ließ Leibniz die Sache ruhen; er hat auch nichts weiter darüber veröffentlicht. Zur Würdigung seiner Art zu arbeiten, seines klaren Blickes in die mechanischen Verhältnisse ist diese Skizze, wie er die kleine Abhandlung bezeichnet, von unschätzbarem Werte. In ihr dürfte einmal zuerst die Idee ausgesprochen sein, die später in den Wasserhaltungs- und Pumpmaschinen so häufig verwendet worden ist, die einzelnen, aufeinander wirkenden Teile nicht in dauerndem Zusammenhange zu lassen, ihre Bewegungen vielmehr denen der zu hebenden Wassermassen anzuschließen, und zum andern das Prinzip des Akkumulators zuerst auftreten, das darin besteht, Arbeit in einem gehobenen Gewichte aufzuspeichern und diese zur gelegenen Zeit wieder zu verwenden.

Neben diesen allgemeinen Prinzipien galt sein lebhaftes Interesse aber auch allen in betracht kommenden Einzelheiten. Der empfindlichste Teil

1) Vol. A. 57 und 61.

2) In dem die Welle RS aufgestellt ist.

3) Ausführlicher dargestellt von Gerland, Berg- u. Hüttenmännische Zeitung. 1898. S. 225 und 243.

der Pumpe ist der Kolben, ihn zu verbessern, hat sich deshalb Leibniz viele Mühe gegeben. Namentlich suchte er die Kolbenreibung soviel wie möglich herabzusetzen. Seine mannigfachen Vorschläge hat er aber nicht veröffentlicht. Bei einem derselben wollte er die Liderung ganz weglassen und dem mit Saugventil versehenen Kolben mittels einer ihn durchsetzenden eisernen Stange eine Leitung geben. Sänke dann auch zwischen Kolben und Stiefelwand beim Aufsteigen des Kolbens Wasser wieder herab, so sei das wenig, und der Vorteil doch bedeutend, da die zur Überwindung der Kolbenreibung nötige Arbeit gespart werde.

Wäre nun die Annahme eines derartigen Vorschlages bei ununterbrochen arbeitenden Pumpen denkbar gewesen, so war sie für andere Pumpen, so namentlich für die Feuerspritzen, ganz ausgeschlossen. Dass man aber in damaliger Zeit für solche bereits über Kolben verfügte, die den gegenwärtig benutzten sehr ähnlich waren, beweist eine Zeichnung, die sich in den von Leibniz hinterlassenen Papieren findet¹⁾ und die Überschrift: »von Hrn gengenbach zu Zeitz« trägt. Fig. 206 stellt die Ansicht des Kolbens dar, Fig. 207, S. 214, in $\frac{1}{4}$ des Maßstabes des Originalen seinen Durchsehnitt. Folgende Beschreibung ist beigegeben: »*aa* ist von ligno sankto gedreht, *bb* ist Korek oder Gurek umher und mit hölzernen Stifftgen befestigt; *cc* ist von dem besten sogenannten Pfund Leder zweymal übereinander umher tiechte angemacht mit hölzernen Stifftgen, doch, dass es etwas über dem Korek vorgehe, wie bei *dd* zu sehen; *ee* ist eine Messinc Scheibe mit der Mutter *ff*; den mittleren Kloben *g* mit dem kleinen Schräubgen *hh* anzuziehen und zu befestigen; *s* ist das löehlein zu *h*; in *k* wird die eiserne Stange zum aufziehen und drücken nur mit einem Haken eingehengt. Wie ins Kleine bei *L* gezeichnet zu sehen. — Wenn nun ein solcher Kolben im Stiefel etwas zu willig von vielen Gebrauch geworden, so wird der Kolben auf etwas in die Höhe gesetzt, das Leder mit einem Hammer etwas zusammen geklopft, so dauert es hernach wieder gute Zeit und wird also wieder wohl gedränge schlüssend«. Auch ohne die Buchstaben wird sich der Leser leicht in die Beschreibung finden. Der mittlere Ring ist der Kork, die schräg schraffierten doppelten Lagen sind die Lederringe, die senkrecht schraffierten Teile bestehen aus Messing.

Die Feuerspritze, zu deren Betrieb der Kolben dienen sollte, war um die Mitte des Jahrhunderts durch den Nürnberger Zirkelsehmied Hans Hautsch (gest. 1670), einen »inventiösen und künstlichen Mann« dadurch sehr verbessert, dass sie den Windkessel zugefügt erhalten hatte²⁾. Die



Fig. 206.

¹⁾ Vol. E.

²⁾ Joh. Neudörffer, Nachrichten von den Nürnberger Künstlern, so innerhalb

älteste Abbildung des so verbesserten Apparates hat wohl Böckler¹⁾ gegeben, aber er sowohl wie Moneonys, der sie als etwas Neues in Antwerpen sah, bildet nur den wohl verschlossenen Kasten ab, ohne über die sonstige Einrichtung etwas mitzuteilen. Diese wurde noch geheim gehalten, und so sehen wir auch bei

Leupold, der die Hautschsehe Einrichtung etwas abänderte, davon nichts. Am 1. Mai 1655 kündigte Hautseh seine neue Spritze an²⁾, und schon in dem nämlichen Jahre sah Schott³⁾ eine solche in Verwendung. Wie für alles, was das allgemeine Wohl zu fördern geeignet war, interessierte sich Leibniz sehr für sie. »Ich habe hier, wie Sie«, schreibt er am 4. Febr. 1707 an Papin⁴⁾, »die Anwendung der zusammengepressten Luft vorgezogen (nach der Hautseh in Nürnberg gehörenden Erfindung der Feuerspritzen, welche einen dauernden Wasserstrahl werfen«). Das sind so viele und schwer wiegende Zeugnisse für die Zufügung des

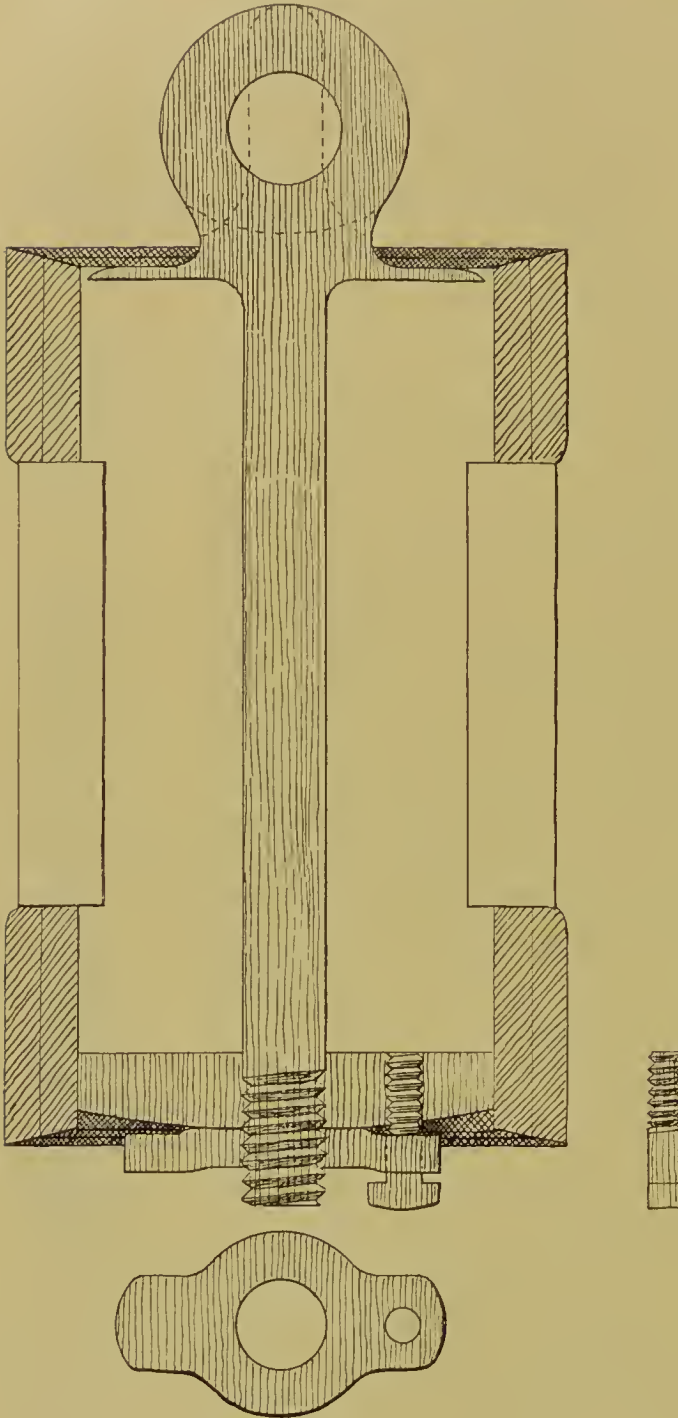


Fig. 207.

Windkessels zur Feuerspritze in der Mitte des 17. Jahrhunderts, dass die

hundert Jahren in Nürnberg gelebt haben. 1546, nebst der Fortsetzung von Gulden 1660. Abgedruckt nach einer alten Handschrift in der Campeschen Sammlung. Nürnberg 1828.

1) Böckler, *Theatrum Machinarum novum*. Nürnberg 1661. Taf. 154.

2) Magirus, *Das Feuerlöschwesen in allen seinen Teilen*. Ulm 1877. S. 451.

3) Schott, *Magia universalis naturae et artis*. Herbipoli 1657.

4) Gerland, *Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin etc.* Berlin 1881. S. 373.

lange festgehaltene Ansicht, die Alten hätten bereits die Feuerspritze mit Windkessel besessen, mit Sicherheit in das Reich der Fabel zu verweisen ist. Was an ihm lag, that Leibniz, um dem neuen Apparate die weiteste Verbreitung zu verschaffen. Er erwirkte vom König Friedrich I. von Preußen für die von diesem gestiftete Akademie der Wissenschaften in Berlin ein Privileg¹⁾, durch welches ihr »die einföhrung und besorgung der rechtschaffenen Feuerspritzen dergleichen noch nicht gebräuchlich« aufgetragen wurde.

War so der Apparat bald allgemein bekannt geworden, so war man sich über seine Wirkungsweise doch noch 1724 in fachmännischen Kreisen durchaus nicht klar, sonst hätte nicht damals der Leipziger Mechaniker Leupold²⁾ darüber schreiben können: »Es ist aber zu wissen, dass solche Spritzen nicht so hoch gehen, als eine Spritze mit gleicher Kraft, die keinen Windkessel hat und nur beim Niederdrücken gießet. Denn gleich wie das Wasser geteilet wird, so auch die Kraft, ja, je größer der Windkessel, je besseren Effect tut solcher und je gleicher ist der Ausguß vom Wasser«. Auch ist es nur so verständlich, dass Du Fay 1725 es für eine neue Konstruktion erklären konnte, als er den Stiefel der einstiefigen Pumpe im Innern des Windkessels anbrachte, und so wohl eine bequeme Handspritze zu Wege brachte, aber weder eine Verbesserung, noch eine wesentliche Neuerung erhielt.

8. Papins Erfindung des Centrifugalventilators und des Taucherschiffes.

Die Unzulänglichkeit der gewöhnlichen Pumpen in allen den Fällen, wo es darauf ankam, rasch einigermaßen große Wassermassen zu heben, hatte schon in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts auch auf andere Wege sinnen lassen, auf denen man dies möglich zu machen hoffen durfte. Man war darauf gekommen, in wasserdicht geschlossenen Kapseln, die das Wasser passieren konnte, mit ihren Schaufeln ineinander greifende Rädchen, verschiebbare Platten u. s. w. anzubringen, die sich rasch bewegend das Wasser fortschafften. Man nannte diese Pumpen Kapselkünste, und die älteste uns bekannte, die Pappenheimsche Kapselkunst bildet Schwenter³⁾ ab, wie es Fig. 208 zeigt und beschreibt sie folgendermaßen: »Eine Machina hat zwey außgekärbter Rädlein *AB*, welche man in eine ablange rundung *CD* einsperret, solehergestalt, dass die Zähne dess einen

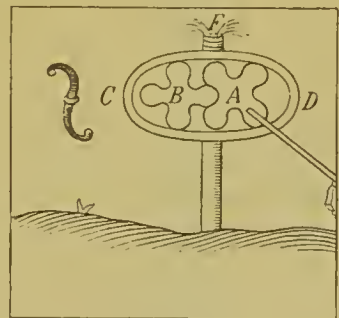


Fig. 208.

1) O. Klopp, Die Werke von Leibniz. I. Reihe. 10. Bd. Hannover 1877. S. 451.

2) Leupold, Theatrum Machinarum Hydraulicarum. 1724. T. I. S. 210.

3) Schwenter, Deliciae physico-mathematicae. 1636. S. 485.

Rades sich in die Zäne dess andern in vmbträhren gantz gehelb einschließen, vnd beede an den ablangen Geschirr auch gantz gheb anligen, dass nirgend kein Luft oder Wasser dazwischen kommen könne, weder in der mitte oder auff der seite. An einem jedwedern Rädlein hat es eine Handhaben, welche man außerhalb dess Kästleins kan herumbtrehen, die Handhaben aber dess Rädleins *B*, machet wann das Rädlein *B* getrehet wird, dass sich das Rädlein *A* mit vmbtrehe, doch widersinns, vnd durch eine solehe contraribewegung, wird der Luft vnd das Wasser durch die höle der Rädlein, von einer seiten zur andern getragen. Wann nun die Rädlein fort und fort vmbgetrieben werden, wird das Wasser gezwungen über sich zu steigen, vnd durch die Röhren *F* außzusprützen, wohin man will.«

Eine andere solche Kapselkunst hatte Prinz Rupprecht von der Pfalz angegeben und Wasserriegel genannt¹⁾. Sie ist in Fig. 209 dargestellt

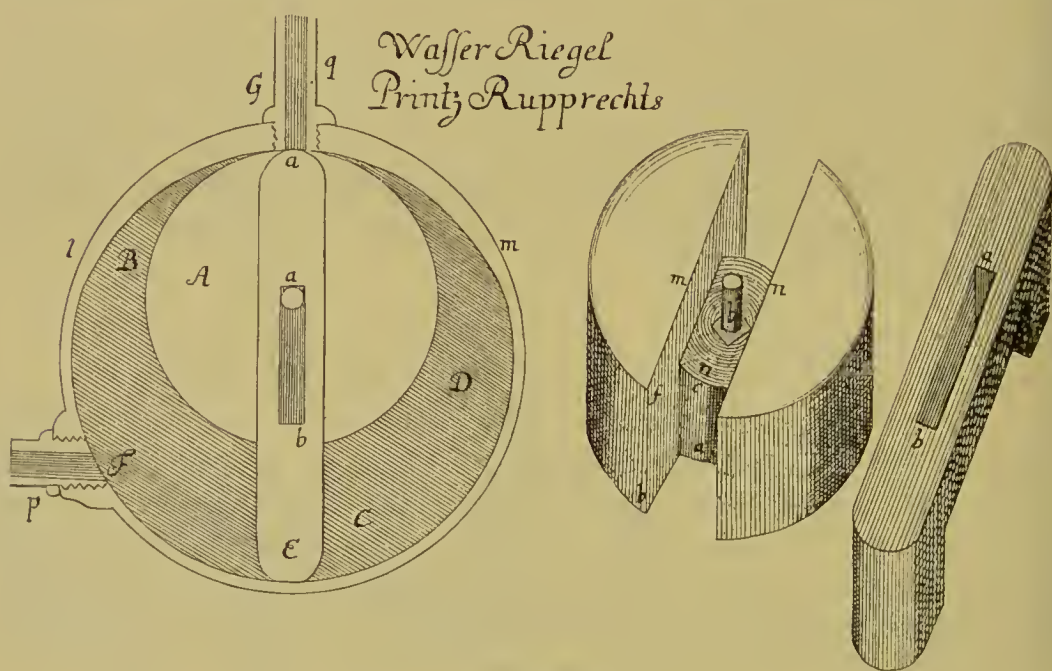


Fig. 209.

und pumpt das Wasser, indem ein in der Kapsel exeentrisch angebrachter Cylinder, dessen Höhe dem Abstände der Seitenwände der Kapsel genau gleich war, einen in der letzteren angebrachten Kulissenschieber bewegt, dessen Fläche, da sie immer Sehnenfläche des Cylinders bleibt, diesen stets in zwei Teile teilt, von denen der eine sich vergrößernde das Wasser ansaugt, während es aus dem anderen sich gleichzeitig verkleinernden in das Steigrohr gepresst wird. Ein Modell dieses Wasserriegels sah 1663 Moneonys²⁾ in Kassel, woselbst es sich noch in der Sammlung des

1) Leupold, Theatrum Hydraulicarum. I. S. 123.

2) Moneonys, Journal des Voyages. II. S. 209. Vgl. Cöster und Gerland, a. a. O. S. 11, und Gerland, Wiedemanns Annalen 1879. VIII. S. 365.

Königlichen Museums befindet, erfuhr aber auch, dass der Gouverneur dieser Stadt Brnstrop von Schört die Erfindung für sich in Anspruch nahm.

Eine dritte solehe Kapselkunst hatte 1684 der bereits erwähnte württembergische Rat Reisel¹⁾ unter sorgfältiger Geheimhaltung ihrer Einrichtung veröffentlicht und aufgefordert, diese zu erraten. Erst 1690 teilte er die Einrichtung dieser Maschine mit. Der Rotatilis suetor et pressor Württembergiens, wie Reisel seinen Apparat, den Fig. 210 darstellt, nannte, pumpt das Wasser, indem an einem Rade *BD* befestigte Klappen *NN* durch Federn gegen die Innenwand der Kapsel angedrückt werden und so am Saugrohr *HH* vorbeigleitend hier das eingetretene Wasser aufschöpfen und nach *A* zur Mündung des Steigrohres *AI* führen. Hier verengt sich aber der Kapselraum, die Klappe *L* wird mehr und mehr an die Kapselwand angepresst und bei *M* und *M* schließt sie den Raum ganz ab. Bei *K* aber erweitert er sich wieder, die Feder öffnet die Klappe und das Spiel kann von neuem beginnen.

Auf diese sehr komplizierte Idee kam Papin natürlich nicht, als er sich 1689 anschickte das von Reisel gestellte Problem zu lösen; aber hätte das auch der Zufall gewollt, er hätte sie gewiss bald wieder fallen lassen, jedenfalls nicht ausgeführt, denn von Haltbarkeit konnte doch dabei nicht die Rede sein. Sein Plan war ein anderer, wie er dem Schüler Huygens' näher liegen musste, es war die längst wieder erfundene oder aufgefundene Centrifugalpumpe²⁾, deren erste Form Fig. 211 und 212, S. 218, in der äußeren Ansicht und mit weggenommener Rückenplatte zeigt. Papin beschreibt sie folgendermaßen³⁾: »Diese Maschine

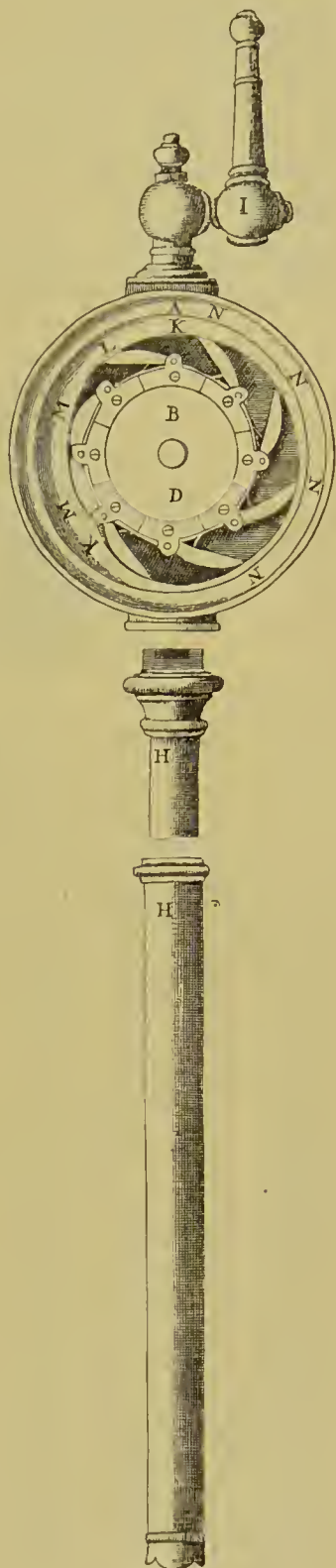


Fig. 210.

1) Reisel, Acta Eruditorum. 1690. S. 143. Tab. V. Fig. 4.

2) Papin, Acta Eruditorum. 1689. S. 317. Recueil u. s. w. S. 2.

3) Nach der Übersetzung Leupolds in Theatrum Machinarum Hydraulicarum. Tom. I. Leipzig 1724. S. 127 und Tab. XLIX. Fig. I und II.

besteht aus einem einzigen cylindrischen Gefäße von geringer Tiefe *AAAA*, durch dessen Centrum eine Achse *BB* gehet, an welche Flügel *CCC* gemacht sind, welche von besagter Achse umgetrieben werden und accurat an dem Umschweif anschließen, und denselben doch nicht berühren, so gar, dass dennoch die Flügel, wenn auch das Gefäße nicht bewegt wird, können umgetrieben werden. Hieraus sieht man, dass, in sofern gemeldete Achse zugleich mit denen Flügeln herumgehen muss, zugleich auch das in dem Gefäße *AAAA* enthaltene Wasser notwendig müsste umgetrieben werden

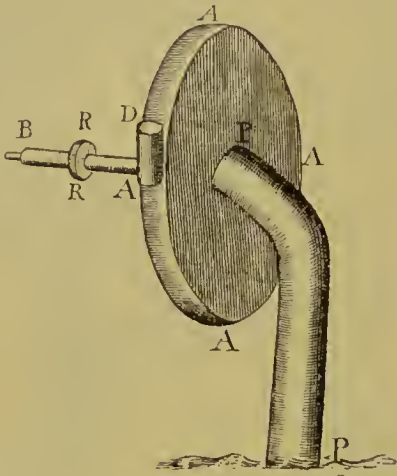


Fig. 211.

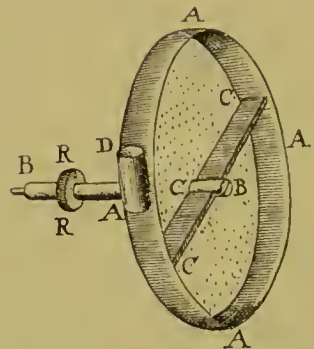


Fig. 212.

und daher ohne Aufhören von dem Centro zurückweichen... Hieraus folgt nun, dass wenn das Gefäße *AAAA* recht feste zugemacht wird und einige Löcherger bei der Achse aufgelassen werden, durch welche das Wasser von außen eindringen kan, und in dem Rande ein anderes Loch gemacht wird, an das ein Tubus *AD* nach der Richtung der rührenden Linien gemacht wird, so folget, dass das Wasser, wenn es in dem Gefäße *AAAA* umgetrieben wird, durch die empfangene Kraft in den Tubum *AD* eindringet und hernach so hoch steigt, als die Körper, wenn sie durch dergleichen Schnelligkeit bewogen werden, nach derselben Regierung kommen können.«

Papins Maschine unterscheidet sich also von den bisher beschriebenen Apparaten dadurch, dass das Wasser an der Achse der rotierenden Flügel eintritt, nach mehreren Umdrehungen eine sich immer vergrößernde Geschwindigkeit erlangt und endlich in tangentialer Richtung weggeschleudert wird. Versuche, die Reisel mit dieser »einfachsten aller Maschinen« anstellte, fielen zu dessen vollster Befriedigung aus, ebenso berechtigte ihre Ausführung im großen bei Allendorf an der Werra zu den schönsten Hoffnungen.

Doeh fand Papin¹⁾ selbst, dass sie nicht nur verbesserungsfähig, sondern auch verbesserungsbedürftig sei. Zunächst erhöhte er ihre Wirkung da-

1) Papin, Philosophical Transactions. 1705. Vol. 24. S. 1990.

durch, dass er statt der zwei vier Flügel anwendete, wie Fig. 213 zeigt. Dann aber erkannte er ganz richtig, dass nur in der zum Ausflussrohr senkrechten Stellung der Schaufel das Wasser in der Richtung der Berührungslinie weggetrieben werde, in allen anderen aber nicht, dass die bisher dargestellten Ausführungsarten also große Reibungswiderstände überwinden müssten. Diesem Übelstande suchte er nun nicht, wie dies später geschah, durch eine zweckmäßigere Form der Schaufel abzuhelpen, sondern vielmehr dadurch, dass er der Hülle, wie dies Fig. 214 vor Augen führt, eine spiralische Form gab. Er nannte die Pumpe, durch Reisels Vorgang veranlasst, den *Suctor et pressor Hassiacus*. Wenn er dafür wohl auch die Bezeichnung des hessischen Blasebalges benutzte, so ist es doch zu verwerfen, wenn dieser Name auch jetzt noch beibehalten wird¹⁾. Denn nachdem seit der ersten Londoner Weltansstellung die Centrifugalpumpe ein weit verbreiteter Apparat geworden ist, man unter einem Blasebalg aber ganz etwas anderes versteht, so haben wir allen Grund, den Apparat als das zu bezeichnen, was er ist, wenn wir Papins Eigentumsrecht auf die Erfindung der Centrifugalpumpe zur Anerkennung bringen wollen. Es ist dies um so wichtiger, als die treffliche Maschine nach ihrer Erfindung nicht zur Verwendung kommen konnte, da es an einem Motor fehlte, der ihr die nötige rasche Bewegung hätte erteilen können. Diesen herzustellen war zunächst Bedürfnis, und wir werden sehen, dass die zu diesem Zwecke unternommenen Arbeiten zu der Erfindung der Dampfmaschine führten.

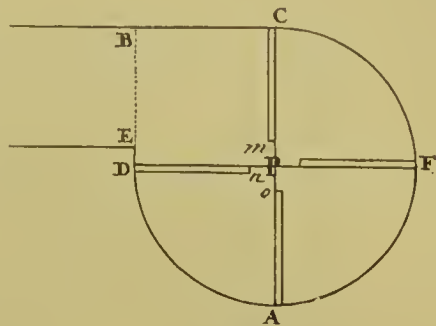


Fig. 213.

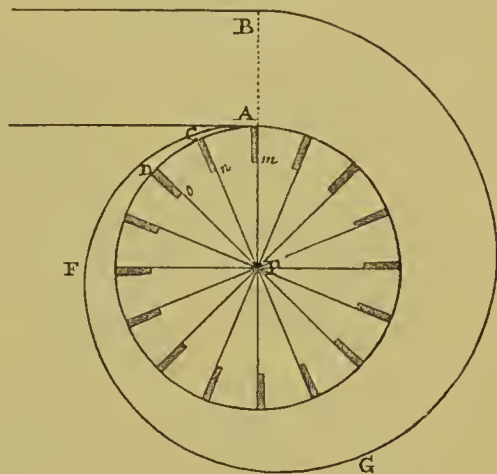


Fig. 214.

Es ist dies um so wichtiger, als die treffliche Maschine nach ihrer Erfindung nicht zur Verwendung kommen konnte, da es an einem Motor fehlte, der ihr die nötige rasche Bewegung hätte erteilen können. Diesen herzustellen war zunächst Bedürfnis, und wir werden sehen, dass die zu diesem Zwecke unternommenen Arbeiten zu der Erfindung der Dampfmaschine führten.

Einstweilen stand jedoch nichts im Wege den neuen Apparat als Ventilator zu benutzen. Die Frage nach genügender Lüfterneuerung war für den Bergbau nicht weniger wichtig, wie die einer ausgiebigen Sumpfung, wie der Bergmann das Auspumpen der Grubenwasser nennt, ihre Lösung war eine Lebensbedingung für viele Gruben, und so fehlte es denn auch nicht an Vorschlägen, sie ins Werk zu setzen. Der Joachimsthaler Arzt Agricola

1) Wie dies Wintzer in D. Papins Erlebnisse in Marburg, Marburg 1898, thut.

(1490—1555) führt in seinem berühmten 1550 erschienenen Buche *De Re metallica*, das den Bergbau seiner Zeit ausführlich schildert¹⁾, eine ganze

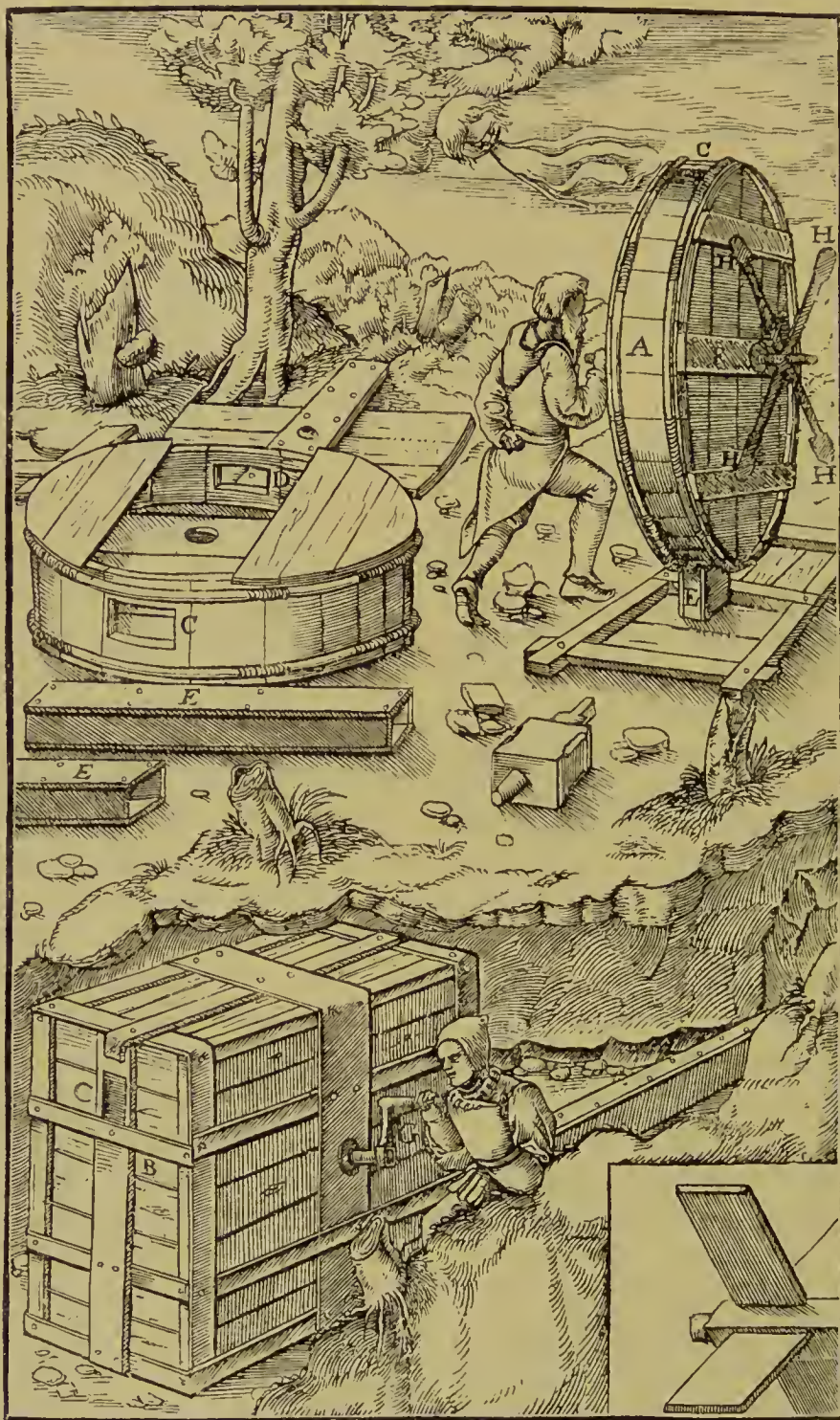


Fig. 215.

Reihe solcher Ventilatoren an, darunter auch den in Fig. 215 abgebildeten,

¹⁾ Agricola, *De re metallica*. Basileae 1556. S. 161.

den man auf den ersten Blick für einen Centrifugalventilator halten möchte. Doch ist er das so wenig, dass seine Wirksamkeit vielmehr vollkommen Null ist. Wohl drehen sich wie bei Papins Apparat in seinem flach cylindrischen Gehäuse *AC* Arme mit Schaufeln, aber die Luft musste unten ein und oben austreten, wenn der Apparat saugend wirken sollte und zu beidem fehlt ihr jeglicher Antrieb. Das findet auch Th. Beek¹⁾ in seiner Besprechung der Leistungen Agricolas. Aber mit der Annahme, dass Agricola oder der Kupferstecher sich bei Beschreibung oder Mitteilung des Apparates geirrt habe, da ja der erstere ihn in Thätigkeit gesehen habe und er also brauchbar gewesen sein müsse, wird er dessen Apparat nur retten können, wenn er Agricolas Zuverlässigkeit preisgibt. Dann aber verliert ja die Sache selbst jedes Interesse. Viel näher liegt die Annahme, dass sich Agricola und noch mehr wohl seine Gewährsmänner getäuscht haben, was ja bei einer Maschine, die über Tage arbeitet und unter Tage ihre eigentliche Wirkung bethätigen soll, so überaus leicht möglich ist. Der von Agricola abgebildete Ventilator hat sich deshalb auch nicht behauptet, während der Papinische in seiner ursprünglichen Form als Kornreinigungsmaschine bald eine der volkstümlichsten Apparate wurde, den jedermann gebrauchte und von dem niemand sagen konnte, woher er stammte. Er selbst benutzte ihn, um Wind für seine neuen und für die älteren Öfenkonstruktionen zu geben, er benutzte ihn namentlich bei seinen merkwürdigen Versuchen mit dem Taucherseiff, die nicht so bald vergessen worden wären, wenn sie Papin an einem wasserreicheren Orte, als in dem nur die Fulda bietenden Kassel hätte anstellen können.

Schon im Anfange des 17. Jahrhunderts hatte man sich mit dem Problem der Taucherglocke eingehend beschäftigt. Schwenter bildet bereits eine ab und der Versuch Drebbels (1572—1634), der in einem Taucherschiiff unter dem Wasserspiegel der Themse gefahren sein sollte, hatte nicht nur das größte Interesse erregt, er hatte auch zu den erstaunlichsten Gerüchten Veranlassung gegeben, die indessen auch bei so vorurteilsfreien Männern wie Boyle, Huygens und Leibniz Glauben fanden. Dieser Umstand giebt diesen Unmögliches behauptenden Übertreibungen auch jetzt noch ein Interesse, das sie sonst gänzlich entbehren würden. So schreibt Huygens an Papin, dass sein, des Schreibers, Vater zu der Zeit, in der Drebbel seine Versuche angestellt habe, in London gewesen sei und ihm erzählt habe²⁾, dass Drebbel »im Schiffe eingeschlossen, sich in die Themse versenkte, ohne dass etwas über dem Wasser sichtbar blieb, von wo er nach einer ziemlich langen Zeit und an einem vom Ort seines Verschwindens weit entfernten Stelle wieder zum Vorschein kam. Man sagte, dass er ein Mittel zur Erneuerung der Luft in seinem Schiffe habe, was eine überaus

1) Th. Beck, Historische Notizen VII. Civilingenieur 1888. Bd. 34. Neue Folge. S. 752.

2) Brief von Huygens an Papin vom 2. Nov. 1691. S. Gerland, Briefwechsel etc. S. 182.

wichtige Erfindung sein würde.« Boyle¹⁾ teilt gar mit, dass »das Schiff zwölf Ruderer außer den Mitfahrenden trug, von denen einer bis zum heutigen Tage überlebend, die Sache einem Mathematiker von gutem Namen erzählte, von welchem ich sie selbst erfahren habe. Was ich deshalb erzähle«, fährt er fort, »weil ich, da mir weder Wissbegierde noch Gelegenheit fehlte, unter den Verwandten Drebbels, besonders von dem tüchtigen Arzte²⁾, der seine Tochter geheiratet hatte, die Ursachen zu erforschen, die es möglich machten, dass Menschen, die es nicht gewöhnt waren, so lange unter Wasser zuzubringen, nicht erstickten und (wie der Teilnehmer nur nach seiner Erinnerung behauptete) ohne jeden Schaden aushielten«. Er erhielt die Antwort, »Drebbel habe geglaubt, dass dies nicht der ganze Körper der Luft, sondern eine gewisse Quintessenz (wie die Chemiker sagen) oder ihr geistiger Teil bewirke, dass sie zur Atmung diene, nach deren Verbrauch der dickere Körper, oder Kadaver (Verzeihung dem Worte) der Luft, die die im Herzen vorhandene Lebensflamme nicht ernähren könne«. An diese Quintessenz glaubte auch Leibniz³⁾, er meinte, sie könnte Weingeist gewesen sein, den Drebbel habe verbrennen lassen, da es keine Flüssigkeit gebe, die sich mehr der Natur der Luft nähere und dass vielleicht dessen Dampf der Luft ihre durch Atmung erteilte Verderbnis verbessert habe. Seitdem blieb die Frage auf der Tagesordnung und die Royal Society setzte am 10. Februar 1664 eine Kommission ein, welche nach dem Mittel suchen sollte, das längere Zeit unter dem Wasser leben zu können ermöglichte⁴⁾.

Es wird Papin zu immerwährendem Ruhme gereichen, dass er sich mit dem Suchen nach dieser Quintessenz, die viel Anklänge an den Stein der Weisen hatte, nicht wie viele seiner Zeitgenossen aufhielt, sondern sich von vornherein nur an das Mittel wandte, das auch jetzt noch allein zum Ziele führt, an fortwährende Zufuhr frischer Luft. Zwei Taucherschiffe hat Papin hergestellt, mit dem ersten konnte er keine Versuche ins Werk setzen, da durch die Unachtsamkeit des Zimmermanns der Krahn brach, der es in den Fluss hinablassen sollte und das Schiff in Stücken ging. Das Schiff, mit dem er seine Versuche ausführte, zeigt die Fig. 216, welche einem Brief Papins an Huygens vom 16. August 1691 entnommen ist⁵⁾. Es war aus Holz »wie ein Breufass, ovalmäßig angeordnet« und besaß eine Höhe von $6\frac{1}{2}$ Fuß bei 3 Fuß Tiefe und 5 Fuß Breite, so dass es außer den nötigen Hilfsapparaten drei Menschen fassen konnte. Aus zwei seitlichen (nicht gezeichneten) Öffnungen konnten Ruder herausgesteckt und mit Leder gedichtet werden. Die Lufterneuerung besorgte

1) Boyle, *Nova experimenta physico-mechanica de vi Aeris elastica*. Ed. patroma. Roterodami 1669. T. I. S. 321.

2) s. S. 115 Anm. 2.

3) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 204.

4) Huygens, *Oeuvres complètes*. V. S. 81.

5) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 62.

der Centrifugalventilator *B*, der durch das Rohr *C* Luft ansaugte, durch ein zweites die verbrauchte Luft wieder zur Oberfläche des Wassers beförderte. Die Enden beider Röhren waren in Korkstücken befestigt, welche auf dem Wasser schwammen.

DD ist das Mannloch, durch welche die Bemannung in das Schiff stieg. Die Tiefe, in der es sich zu irgend einer Zeit befand, bestimmte das Manometer *O*, welches auf beiden Seiten offen war und soviel Quecksilber enthielt, als für die größten vom Schiffe zu erreichenden Tiefen für nöthig erachtet wurde. Sollte das Schiff sich senken, so wurde in ein in seinem Inneren befindliches Gefäß Wasser mittels eines Hahnes eingelassen, sollte es wieder steigen, so warf eine Pumpe das Wasser wieder heraus und ersetzte es durch Luft. Der merkwürdigste

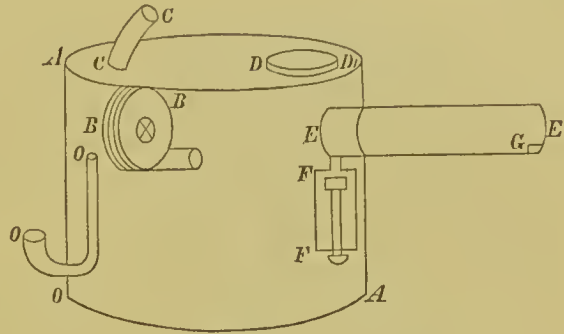


Fig. 216.

Teil des Schiffes ist das kupferne Rohr *EE*, das wasserdicht in die Maschine eingefügt wurde. Es war so weit, dass sich ein Mann hineinbegeben konnte; war das geschehen, so wurde es gegen das Schiff durch eine angeschraubte Platte abgeschlossen. Wurde nun die Kompressionspumpe *F* in Thätigkeit gesetzt, so konnte der in *E* Eingeschlossene die Klappe *G* öffnen und herausgreifend im Wasser arbeiten, sei es zerstörend an einem feindlichen Schiffe, sei es Gegenstände am Boden des Gewässers bergend.

So finden wir hier eine Menge Ideen bereits ausgesprochen, auf welchen in unserer Zeit die pneumatische Gründungsmethode, die Arbeiten der Taucher am Meeresgrund u. s. w. beruhen. Und nicht nur ausgesprochen wurden sie, sie wurden auch ausgeführt. Durch das Missglücken des ersten Versuches hatte sich der kühne Forscher durchaus nicht abschrecken lassen, er baute das zweite Schiff, an dem er einige nicht unbedeutende Veränderungen anbrachte, und ließ sich im Mai 1692 mit einem Gehilfen in seinem Schiffe mehrmals unter den Spiegel der Fulda herab, wobei er ein angezündetes Licht noch brennend wieder mit heraufbrachte. Dieser Versuch wurde im Gegensatz zu dem ersten, bei dem eine schaulustige Menge sich getäuscht sah, in der Stille ausgeführt. Bedauerlicherweise hat sich deshalb die Überlieferung erhalten, Papins Versuch mit dem Taucherschiff sei missglückt. Wie wenig übrigens die damalige Zeit in der Lage war, Papins Projekt und Experiment richtig zu würdigen beweist der Vorschlag, den 1683 Alphonsus Borellus¹⁾ für ein Taucher-

1) Acta Eruditorum 1683. S. 73.

schiff machte, den freilich Jacob Bernoulli I.¹⁾ als völlig untauglich verwarf.

Als Papin nach Beendigung seines Versuches die komprimierte Luft aus seinem Schiff entweichen ließ, sah er sich plötzlich in einen dichten Nebel gehüllt. Er konnte sich diese Erscheinung ganz und gar nicht erklären, denn davon, dass die sich ausdehnende Luft abkühlt und dann der in ihr enthaltene Wasserdampf sich niederschlägt, hatte man ja noch keine Ahnung. Papin fragte Huygens um seine Meinung, aber auch dieser blieb die Erklärung schuldig²⁾. Das einzige was er zu sagen wusste, war dieselbe Annahme, die Otto von Guericke über die Entstehung von Nebeln im Rezipient gemacht hatte, der Nebel bestehe aus Wasserteilchen, welche bei dem zu raschen Entweichen der Luftteilchen aus der Öffnung von denselben nicht mehr getragen würden und herabsinkend sich miteinander vereinigten.

Das Unzureichende dieser Erklärung beweist wiederum, wie wenig man damals noch von der Natur des Wasserdampfes wusste. Auf diesem Gebiet einen ungeheueren Schritt vorwärts zu thun, war der letzten Gruppe der experimentellen Arbeiten Papins vorbehalten, die mit der Erfindung der Dampfmaschine endigte. Wir haben nun diese noch unseren Lesern vorzuführen.

9. Huygens' Pulvermaschine. Papins Erfindung der Niederdruckdampfmaschine.

Wohl der einzige Apparat, von dem man nie vergessen hat, dass er von Papin erfunden worden ist, ist der Dampfkochtopf oder Digestor, meist kurzweg der Papinische Topf genannt. Die Beschreibung der bereits 1681 gemachten Erfindung bildet den Inhalt einer der Royal Society gewidmeten kleinen Schrift, aus der ein Auszug in die *Acta Eruditorum* von 1682³⁾ aufgenommen worden ist. Aus ihnen stammt die den Topf darstellende Fig. 217. Noch bis in unser Jahrhundert hinein versprach man sich viel von ihm, indem man hoffte, mit seiner Hilfe die des Fleisches entkleideten Knochen als Nahrungsmittel verwenden zu können. Anfänglich hatte Papin diesen Gedanken auch gehabt. Er kam aber davon zurück, als er sich überzeugte, dass es nur Leim sei, den man durch Kochen bei hohem Drucke aus den von Fleisch befreiten Knochen erhalten könne. Doch benutzte er den Apparat zum Einkochen von Konserven, für welchen Zweck er auch die Nützlichkeit des Schwefels erkannt hatte. Es ist bekannt, dass der Dampfkochtopf erst in neuerer Zeit mehr und mehr in unsere Küchen Eingang gefunden hat, unter Beibehaltung der Einrichtung.

1) *Acta Eruditorum* 1683. S. 553.

2) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 65 und 183.

3) *Acta Eruditorum* 1682. S. 105; 1687. S. 276.

welche ihm Papin bereits gegeben hatte. Der Deckel wird durch Schrauben, deren Muttern in Bügeln sich befinden, welche am Topfe befestigt sind, aufgespresst. Um der Gefahr einer Explosion vorzubeugen, brachte Papin an ihm zum ersten Male das Sicherheitsventil an.

Bei dem Versuche, die Temperatur, die in seinem Apparate herrschte, zu bestimmen, ließen ihn die Thermometer seiner Zeit im Stiche. Über den Siedepunkt hinausgehende Temperaturen konnte man mit ihnen nicht bestimmen. Er brachte deshalb einen Tropfen Wasser auf den Deckel und beobachtete die Zeit, die dieser brauchte, um zu verdunsten, eine Methode, die wenigstens die Mittel einer qualitativen Vergleichung an die Hand gab. Genauere Resultate dürfte das 1701 von Newton¹⁾ bei seinen Versuchen zur Prüfung des von ihm aufgestellten Gesetzes des Erkaltes aneh nicht ergeben haben. Um die Erkaltszeiten von erhitztem Eisen zu bestimmen, brachte er Legierungen von verschiedenen hohen Schmelzpunkten darauf und beobachtete die Zeiten, in denen sie nacheinander erstarrten. Abgesehen von der Schwierigkeit, die es immer hat, den Augenblick der Erstarrung festzustellen, so fehlte es auch noch an den Kenntnissen der Erstarrungstemperaturen.

Ob Papin die Beobachtungen am Digestor zuerst auf die Idee der Spannkraft der Dämpfe gebracht haben, wissen wir nicht. Zuerst ausgesprochen hat er sie im Jahre 1685. Er war damals Kurator der Versuche, welche der Royal Society bei ihren regelmäßigen Sitzungen vorgeführt wurden und stellte bei einer solchen Gelegenheit ein Experiment an, das später in einer etwas anderen Form Benjamin Franklin großen Ruhm eingebracht hat. Er

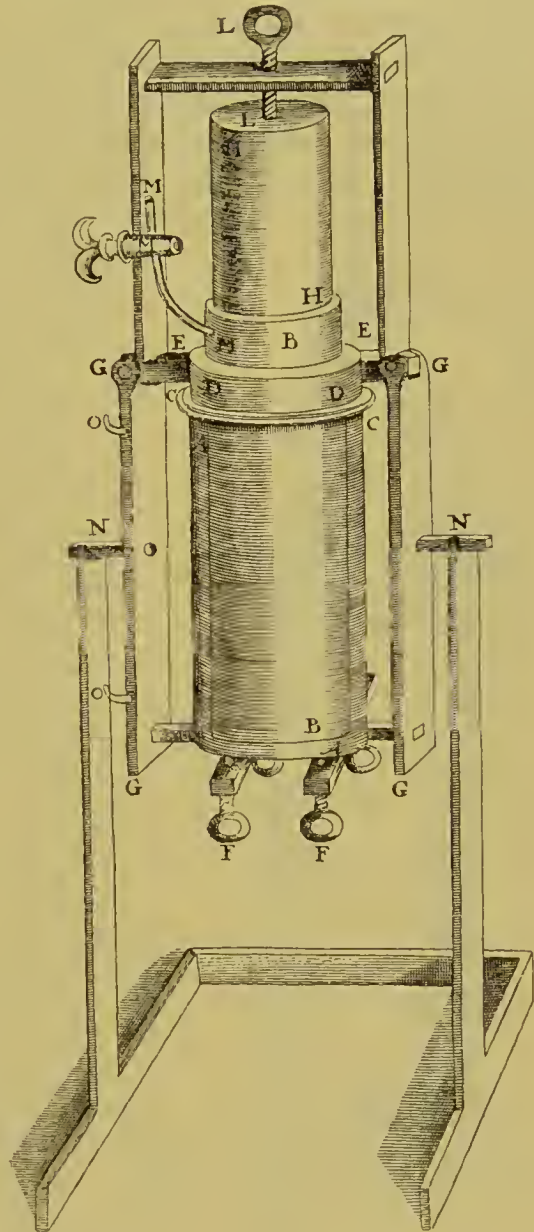


Fig. 217.

1) Newton, Philosophical Transactions. 1701. No. 270.

füllte in eine Flasche etwas Wasser und Alkohol, pumpte den Raum über der eingefüllten Flüssigkeit mit der Luftpumpe so viel wie möglich aus und verschloss darauf die Flasche luftdicht. Erwärmte er sie alsdann und schüttelte sie, so geriet die Flüssigkeit in heftiges Sieden; dasselbe aber zeigte sich auch, wenn er die Flasche in eiskaltes Wasser stellte. »Ich glaube«, sagt er darüber¹⁾, »dass die durch die Erwärmung entwickelten Dämpfe in einem leer gepumpten Glase einen Druck ausüben, welcher sofort aufgehoben wird, sobald wir diese Dämpfe durch Einsetzen des Glases in kaltes Wasser oder Eis niederschlagen«.

Diesen Versuch und seine Deutung mochte Papin vor Augen haben, als er daran ging, eine Maschine herzustellen, welche eine geeignete Kraftquelle zum Betriebe seiner Centrifugalpumpe abgeben könnte. Er war bei

der Anlage eines künstlichen Teiches in der Karlsaue bei Kassel im Inundationsgebiet der Fulda Augenzeuge gewesen, welche Mühe die Arbeiter mit dem Auspumpen gehabt hatten, trotzdem aber nicht im stande gewesen waren, das fortwährend aus dem Boden zuströmende Wasser zu bewältigen. Er war keinen Augenblick im Zweifel, wieviel wirksamer hier die Centrifugalpumpe gewesen wäre, wenn man sie in genügend rasche Umdrehung hätte versetzen können. Dazu aber reichte Menschenkraft nicht aus, und so suchte er sie durch Maschinenkraft zu ersetzen. Da erinnerte er sich der Pulvermaschine von Huygens, welche er 1674 in dessen Auftrage zu einem ähnlichen Zwecke hergestellt und im großen geprüft hatte.

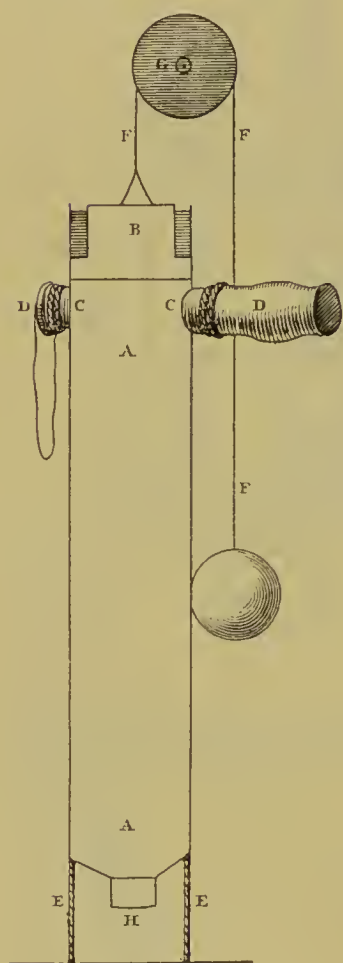


Fig. 218.

Damals ließ Ludwig XIV. die Gärten in Versailles anlegen und man musste, um die geplanten Wasserkünste zu speisen, die Wasser der Seine auf eine nicht unbeträchtliche Höhe heben. Es fehlte nicht an Vorschlägen, die zur Lösung dieser Aufgabe gemacht wurden. Den originellsten machte Huygens, dessen Plan Fig. 218 vorführt²⁾. Ein eiserner Cylinder *AA* wurde durch den Kolben *B* luftdicht abgeschlossen. Am Boden des Cylinders befand sich eine durch eine Schraube verschließbare Öffnung *H*. Auf die obere Fläche der Schraube wurde etwas Schießpulver mit einem Stückchen glimmender Lunte gelegt, welches so lang sein musste, dass

1) Birch, The history of the Royal Society of London. London 1676. IV. S. 456.

2) Hugenii, Opera varia. Vol. I. S. 280.

der Experimentator Zeit hatte, die Schraube wieder an ihren Ort zu bringen, ehe das Pulver entzündet wurde. Die sich dadurch entwickelnden Pulvergase trieben dann den Kolben so weit empor, dass sie durch die Röhren *CC* entweichen konnten, indem sie die über die Röhren gezogenen und an ihnen fest gebundenen Lederärmel *D* in der Weise, wie es die rechte Seite der Figur zeigt, aufrichteten. Dabei kühlten sie sich aber rasch ab und der auf den Kolben wirkende Luftdruck trieb diesen wieder in den Cylinder herab, indem nun, wie links zu sehen, die Lederärmel schlaff herabfielen und der Luft den Zutritt zum Cylinder verwehrten. In den so von ihm abgeschlossenen, mit verdünnter Luft gefüllten Cylinder presste der Luftdruck den Kolben hinein und hob dabei das Gewicht, welches an dem über die Rolle *G* gehenden, mit dem anderen Ende am Kolben befestigten Tau *FFF* hing. Anstatt des Gewichtes sollten bei der Anwendung zum Pumpen mit Wasser gefüllte Kübel genommen werden. Papin hatte damals vor Ludwigs Minister, Neeker, den Versuch angestellt, der Erfolg hatte seinen Erwartungen entsprochen.

Indessen hatte Huygens selbst als Fehler der Maschine bereits erkannt, dass die im Cylinder zurückbleibende Luft, wie er die Pulvergase nennt, die Größe ihrer Wirkung sehr beeinträchtigt, und auf die Notwendigkeit hingewiesen, das beste Verhältnis zwischen Höhe und Durchmesser des Cylinders, sowie die kleinste, noch ausreichende Pulvermenge zu bestimmen. Papin aber hatte die Art der Speisung als sehr unbequem und gefährlich gefunden. Als dann 1687 ein von der Maschine handelnder anonymer Artikel in den *Nonvelles de la République des lettres* den Landgrafen Karl von Hessen, in dessen Diensten damals Papin war, auf die Maschine aufmerksam gemacht und in ihm den Wunsch erregt hatte, sie auf ihre Brauchbarkeit zu prüfen, so gab er ihr die in Fig. 219 gezeichnete Form¹⁾. Anstatt der Schraube nahm er ein abgeändertes Sicherheitsventil. Der zweiarmige, unter dem Cylinder angebrachte, durch ein Gewicht bei *N* beschwerte Hebel *NMO*

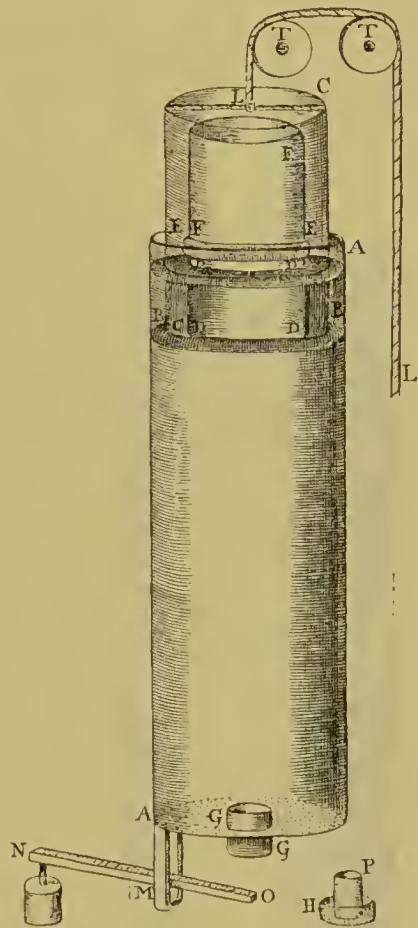


Fig. 219.

1) Papin, *Acta Eruditorum*. Sept. 1688. S. 497. *Nouvelles de la République des Lettres*. X. 1688. S. 982.

drückte einen oben ausgehöhlten Stöpsel *HP* mit hohlem Rande in die Öffnung *GG* am Boden des Cylinders, die einen hervortretenden Rand besaß. So konnte der Stöpsel leicht herausgenommen und, mit frischer Ladung versehen, rasch wieder an seinen Platz gebracht werden. Das Ventil zum Auslassen der Pulvergase aber war auf dem Kolben *BB* angebracht; es hatte die Form eines Cylinders *FF* mit hervortretendem, kegelförmig abgeschliffenen Rande *EE*.

Wie wenig man damals die von Huygens und dann namentlich die von Papin erfasste und verfolgte Idee, die Menschenkraft durch einen der anorganischen Natur entnommenen Motor zu ersetzen, verstand, beweist der Vorschlag, der wohl vom Herausgeber der *Acta Eruditorum* der Mitteilung

des Papinischen Planes zugefügt wurde, das Pulver wegzulassen und statt dessen den Cylinder durch Verbindung der Öffnung in seinem Boden mit einer Luftpumpe luftleer zu machen. Dieser Anhang zu seiner Arbeit mag es wohl gewesen sein, der Papin zur Veröffentlichung der in Fig. 203 abgebildeten Presse bewog, bei welcher jener Vorschlag bereits verwirklicht worden war. Ihn für die Pulvermaschine zu verwenden, kam ihm natürlich nicht in den Sinn.

Für diese hatte er andere Pläne, die er im Jahre 1690 bekannt machte¹⁾. Sie sollten mit einem Male die von Huygens und ihm selbst gerügten Missstände der Pulvermaschine, die im Cylinder nach der Verbrennung des Pulvers bleibende Gasmenge und die Unbequemlichkeit und Gefahr bei der Bedienung beseitigen. So einfach der zur Ausführung gebrachte Gedanke war, von so großer Tragweite bewies er sich, kam er doch auf nichts geringeres heraus, als auf die Erfindung der Dampfmaschine!

Den Entwurf, der der Ausgangspunkt einer neuen Kulturstufe der Menschheit werden sollte, giebt Fig. 220. Er ist nichts anderes wie die Pulvermaschine,

bei der nur das Pulver durch eine auf den Boden des Cylinders gebrachte geringe Menge Wassers ersetzt ist. Das aber gab den doppelten Vor-

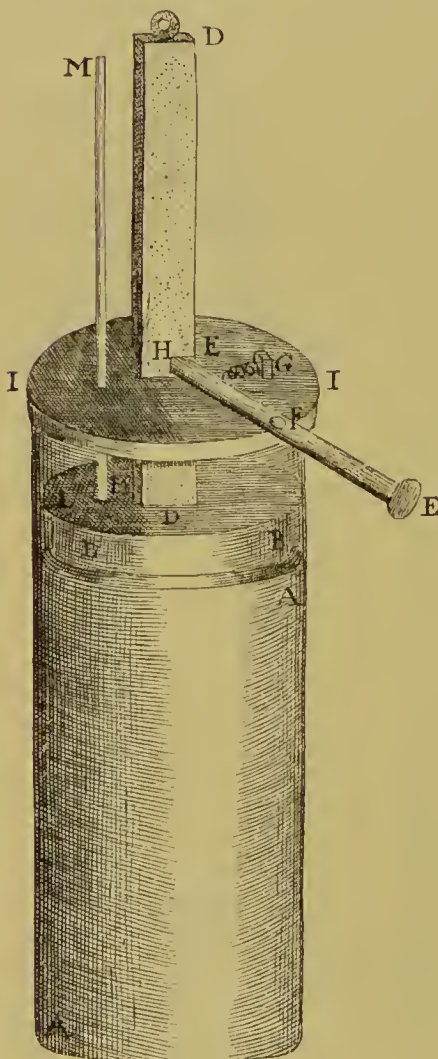


Fig. 220.

1) Papin, *Acta Eruditorum* 1690. S. 410.

teil, dass nun die Öffnung im Boden und das Ventil im Kolben fort-fallen konnten. *AA* ist der eiserne Cylinder, *BB* der Kolben, dessen Stange durch den Cylinderdeckel *II* hindurchgeht und bei *H* eine Nut zur Aufnahme des einen Endes des um *F* drehbaren Hebels *EE* hat, den die Feder *G* fortwährend in die Nut hereindrückt. War aber etwas Wasser in den Cylinder gebracht und dann der Kolben eingesetzt, so konnte er nicht weit genug heruntergedrückt werden, wenn es nicht möglich war, der unter ihm befindlichen Luft Austritt zu verschaffen. Zu diesem Zwecke war der Kolben seitlich bei *M* durchbohrt. War er so weit herabgedrückt, dass seine untere Fläche mit dem Wasser in Berührung gekommen war, so wurde die Öffnung durch die im Deckel ebenfalls ihre Leitung findende eiserne Rute *MM* verschlossen und die Maschine war nun zum Gebrauche bereit. Sie wurde auf ein Kohlenfeuer gesetzt und dort so lange gelassen, bis der sich entwickelnde Dampf den Kolben hoch genug gehoben hatte; dann musste sie wieder abgekühlt werden. In den durch den dabei niedergeschlagenen Dampf leer zurückbleibenden Raum unter dem Kolben trieb der Luftdruck den Kolben herab; die erste Dampfmaschine war also eine atmosphärische.

Die Erwärmung mit nachfolgender Abkühlung nahm längere Zeit in Anspruch. Papin erkannte aber sehr wohl, dass es eine Lebensfrage für die Einführung seiner Maschine in die Technik sei, diese abzukürzen. Die erste Hälfte dieser Aufgabe suchte er dadurch zu lösen, dass er das Feuer mittels seines Ventilators so viel wie möglich anfachte, die zweite, dass er den Cylinder nach erfolgter Hebung des Kolbens vom Feuer nahm. Zu verhüten, dass der Kolben alsdann nicht sogleich wieder herunterging, diese Bewegung vielmehr erst dann eintrat, wenn er zugleich Arbeit verrichten konnte, war die Bestimmung des Hebels *EE* und der Nut *H* in der Kolbenstange. War der Kolben so hoch gegangen, dass *H* über den Deckel hinaus trat, so schnappte der Hebel ein und hielt den Kolben so lange gehoben, bis durch einen Schlag mit der Hand auf das äußere Ende von *E* die Kolbenstange freigegeben wurde. Es blieb also Zeit, den Cylinder so an ein Getriebe zu setzen, dass die Zähne, mit denen die Kolbenstange versehen war, in die des Getriebes eingriffen; sie drehten mit genügender Geschwindigkeit die Welle des Getriebes und verrichteten so eine Arbeit. Sollte dies dauernd geschehen, so mussten gleichzeitig eine Anzahl Cylinder im Betriebe sein, die abwechselnd auf das Feuer kamen.

Wie Papin bei allen seinen Arbeiten mit großer Sorgfalt und Umsicht alle Folgerungen zog und alle Einzelheiten seines Verfahrens zu möglichst großer Vollkommenheit auszubilden strebte, so sehen wir ihn nun sein Erfindungstalent auch zur Verbesserung der damals üblichen Öfenkonstruktionen entfalten. Er ordnete die Züge, in denen die Verbrennungsgase zum Kamin geführt werden, übereinander in entgegengesetzter Richtung an und wurde so der Urheber der noch jetzt zur Erzeugung hoher Hitze-

grade verwendeten Öfen. Darauf näher einzugehen, liegt aber außerhalb des Rahmens unserer Darstellung¹⁾.

Nichts ist geeigneter, uns ein Bild des Zustandes der experimentellen Wissenschaft am Ende des auf Galilei folgenden Jahrhunderts zu geben, als die Erfindungsgeschichte der Dampfmaschine. Die Folgerichtigkeit, die Umsicht, mit der Papin vorgeht, lässt nichts zu wünschen übrig. Dazu ist er sich der Tragweite seiner neuen Maschine wohl bewusst, sie soll das Wasser in den Bergwerken wältigen, sie soll Geschosse schleudern, Schiffe treiben und sie von der Notwendigkeit der Verwendung von Galeerensträflingen befreien, Wagen bewegen u. s. w. Das ist alles in der Idee fertig, und so wohl durchdacht, dass wir solcher Geistesarbeit auch jetzt noch unsere Bewunderung nicht versagen können. Die ausgeführte Maschine auf der anderen Seite ist so überaus ungeschickt, dass sie uns fast ein Lächeln abnötigt. Die Fortschritte der Technik hatten mit denen der reinen Wissenschaft nicht Schritt halten können, und wenn diesem Mangel hinsichtlich der physikalischen Apparate bald genug abgeholfen wurde, so bedurfte die Entwicklung des Maschinenbaues nicht weniger wie ein Jahrhundert, ehe seine Erzeugnisse das leisten konnten, was Papin bereits so deutlich vor sich sah.

10. Papins und Leibnizens Ansichten vom Wasserdampf. Saverys Maschine. Die Hochdruckmaschine Papins.

Ein wesentliches Hindernis für die Weiterbildung seiner Idee fand Papin in den geringen Kenntnissen, die seine Zeit vom Wasserdampfe hatte. Wir haben gesehen, dass ihn die Mitglieder der Accademia del Cimento, dass ihn noch Huygens für Luft hielt. Diese Ansicht, welcher man noch weit in das achtzehnte Jahrhundert hinein begegnet, verwarf Homberg (1652—1715) bereits im Jahre 1693. Er hatte ein zum Teil mit Wasser gefülltes weites Rohr, in welches ein engeres längeres, unter dem Wasser mündendes luftdicht eingesetzt war, luftleer gepumpt, dabei aber beobachtet, dass in dem engen Rohre eine Luftblase auftrat und sogleich durch eine andere ersetzt wurde, so oft sie auch durch Umkehren des Apparates entfernt worden war. Schien dem Pariser Akademiker dies schon dafür zu sprechen, dass keine Luft mehr in dem Wasser vorhanden wäre, so glaubte er es noch mehr aus dem Geräusche schließen zu müssen, welches das Schütteln der Röhre begleitete. »Diese Bewegung«, sagt²⁾ er, »hat an mehreren Stellen das zusammenhängende Wasser in dem (weiten) Gefäße getrennt und das Wasser verursacht, wenn es sich wieder vereinigt, ein Geräusch, wie das zweier großer Schlüssel, welche man

1) Vgl. hierüber Gerland, Glasers Annalen 1884. November. S. 162.

2) Homberg, Mémoires de l'Académie Royale des Sciences X. 1666—1699. S. 280. 1693.

gegen einander schlagen lässt«. Die aus diesem Versuche gezogenen Schlüsse erwiesen sich freilich hinfällig. Einen Fortschritt stellten die Untersuchungen Mariottes¹⁾ dar, als dieser Forscher, da er beobachtet hatte, dass das Wasser auch nach dem Entweichen der in ihm enthaltenen Luft zu sieden nicht aufhörte, neben einer »matière aërienne« auch eine im Wasser vorhandene »matière fulminante« annahm. Beide treten also noch als vom Wasser verschiedene Stoffe auf, während Leibniz zwischen Stößen, welche die Flüssigkeitsteilchen auf die Gefäßwände ausüben und einem gleichmäßigen, gegen sie wirkenden Drucke, einer elastischen Kraft, einem »Ressort«, also doch wohl eine Spannkraft, unterscheidet, ohne sich darüber auszusprechen, wer der Träger dieser Spannkraft sei²⁾.

An derartigen Spekulationen hat sich Papin nicht beteiligt, er arbeitete vielmehr an der Verbesserung seiner Maschine unermüdlich fort, leider unter Verhältnissen, die ihm dies nicht leicht machten. Er hatte in den neunziger Jahren des siebzehnten Jahrhunderts bereits die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft benutzt, also die Hoehdruckmaschine konstruiert. Wie diese ersten Entwürfe einer solchen beschaffen waren, hat er uns freilich nicht überliefert. Wir wissen nur, dass er an der Fulda eine solche aufgestellt hatte, dass sie ihm aber ein unerwartet früh eintretender Eisgang zerstörte. Da sein Herr, der Landgraf, die Versuche stets selbst mitmachen wollte, die kriegerische Zeit ihn aber vielfach von seiner Hauptstadt fernhielt und sonst in Anspruch nahm, so rückte sein Rath nur langsam vorwärts, und es ist die Frage, ob er zum Bau einer weiteren Maschine gekommen wäre, wenn nicht 1704 Leibniz ihm eine Zeichnung der Saveryschen Maschine, die er von London bekommen hatte, zugeschiekt hätte. Obgleich eine Beschreibung der Zeichnung nicht beigelegt war, so übersah Papin die Einrichtung der dargestellten Maschine sogleich und fand in ihr einen Plan wieder, auf den ihn seine Arbeiten ebenfalls geführt hatten, den er aber seiner Fehler wegen wieder verworfen hatte. Er legte dem Landgrafen die Zeichnung vor und erhielt nun zu seiner großen Freude den Auftrag, eine Dampfmaschine zu bauen, an welcher alle von ihm ausgearbeiteten Verbesserungen angebracht werden sollten.

Ehe wir uns zu ihrer Betrachtung wenden, schildern wir zunächst die Leistungen Saverys, der lange genug als Erfinder der Dampfmaschine in ganz unrechtmäßiger Weise angesehen worden ist. Nach Desaguliers³⁾ wäre es freilich nicht Savéry, sondern der Marquis of Worcester, dem die Erfindung gehöre. Der letztere habe bereits 1663 ein Buch unter dem Titel: *A century of invention* erscheinen lassen, in dem die Dampf-

1) Histoire de l'Académie Royale des Sciences I. Paris 1733. S. 273.

2) Brief vom Mai 1704 an Papin. S. Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 306.

3) Desaguliers, *A course of experimental philosophy*. London 1725. Holländische Übersetzung. Amsterdam 1751. III. S. 80.

maschine beschrieben sei. Diese habe Savery ausgeführt, dann aber sämtliche Exemplare von Woreesters Schrift aufgekauft, damit niemand hinter den wahren Sachverhalt komme. Die Geschichte ist trotz Poggendorffs¹⁾ gegenteiliger Ansicht schon deshalb unmöglich, weil des

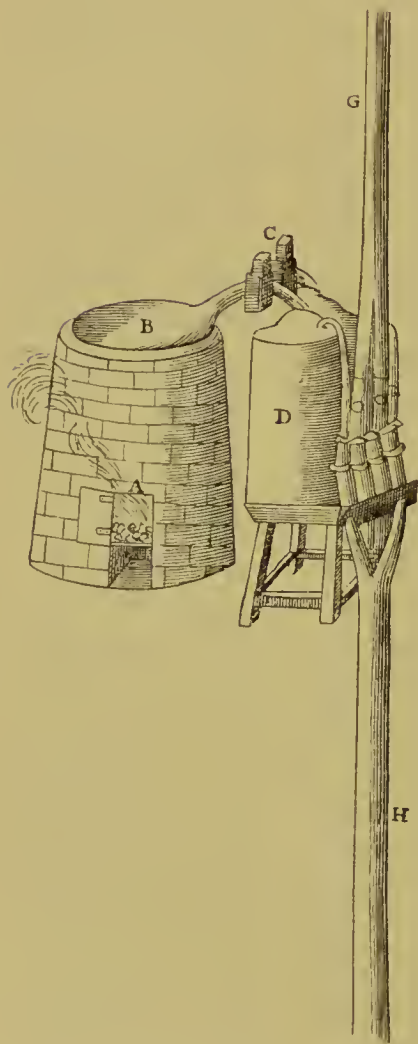


Fig. 221.

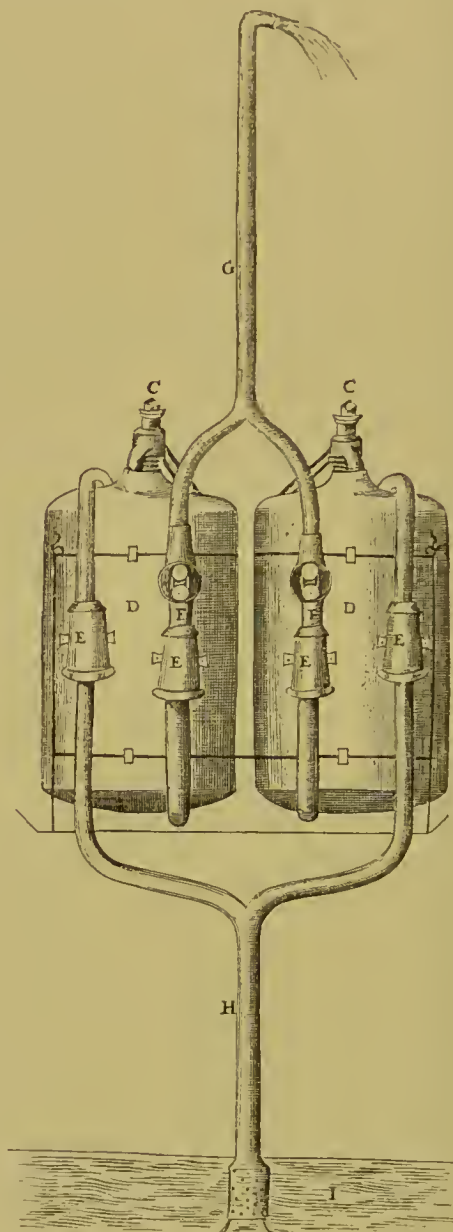


Fig. 222.

Marquis Beschreibung viel zu dunkel ist, als dass danach hätte eine Maschine gebaut werden können. Savery selbst erzählt die Art, wie er zu der Konstruktion seiner Maschine gekommen sei, wesentlich anders. Er habe zufällig gesehen, dass eine auf den warmen Ofen gelegte geleerte

1) Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 534.

Weinflasehe sich mit Dampf gefüllt habe. Als er dann die Flasehe mit dem Halse nach unten in Wasser getaneht habe, so sei dies mit großer Heftigkeit hinein gestiegen. Die Maschine, die er von dieser Beobachtung ausgehend, konstruierte, zeigt Fig. 221 in der Ansicht, die Fig. 222 giebt die beiden Cylinder *D* noch einmal von vorn in etwas größerem Maßstabe.

Sie unterscheidet sich von der ersten Papinischen auf den ersten Blick dadurch, dass bei ihr der Kessel *B* von den Cylindern *DD* getrennt ist. Verbunden ist jeder Cylinder mit dem Kessel durch ein mittels eines der Hähne *C* abzuschließendes Rohr. In den oberen Teil der Cylinder münden die Zweige des Sangrohrs *H*, aus ihrem unteren Teile gehen die Rohre *F* heraus, welche sich zu dem Steigrohre *G* vereinigen. Wird nun einer der Cylinder mit dem Kessel in Verbindung gesetzt, der andere von ihm abgeslossen, so drängt in jenem der Kesseldampf das Wasser in das Steigrohr, während in dem anderen durch den niedergeschlagenen Dampf ein luftverdünnter Raum entsteht, in den der Luftdruck das Wasser durch *H* hineinpresst. Um dieses Spiel der Maschine zu ermöglichen, befinden sich in allen vier Röhren bei *E* Ventile, welche sich nach oben öffnen.

So schön die Maschine nun auch ausgedacht war, sie wirkte nicht, erst als Savery, wie später Desaguiliers und 's Gravesande, einen Cylinder wegließ, kam eine mäßige Wirkung zu stande. Den Grund dieses Misserfolges hat Papin gelegentlich der Vergleichung seiner und der Savery'schen Maschine klar angegeben. Um sie richtig würdigen zu können, müssen wir zunächst die Hochdruckmaschine Papins beschreiben. Wir entnehmen diese Beschreibung seiner Schrift: »Neue Kunst, das Wasser mit Hilfe des Feuers in erfolgreichster Weise zu heben« (*Ars nova ad aquam ignis adminiculo efficacissime elevandam*)¹⁾, die er 1707 in Druck gab. Ihr ist Fig. 223, S. 234, entnommen, welche das Bild der Maschine vorführt.

AA ist eine kupferne, durch das Sicherheitsventil *C* verschließbare Retorte von 20 Zoll Durchmesser und 26 Zoll Höhe. Sie befindet sich in einem Ofen und in ihr wird das Wasser verdampft. Durch das den Durchlasshahn *E* und den Ablasshahn *R* besitzende Rohr *BB* gelangt bei geöffnetem Hahn *E* der Dampf aus der Retorte (dem Kessel) in den Cylinder *D*, der eine verhältnismäßig große, gleichfalls durch ein Sicherheitsventil zu verschließende Öffnung besitzt. An ihn schließt sich das Rohr *HH* an, welches sich nach oben krümmend in senkrechter Richtung als *MM* fort-

1) Hinsichtlich derselben sei eine fehlerhafte Vermutung in Gerland, Briefwechsel u. s. w., richtig gestellt. Es war dort bezweifelt worden, dass die *Ars nova*, wie ihre Anzeige in den *Nouvelles de la République des Lettres* XLVII. 1707. S. 191, sagt, auch in französischer Sprache erschienen sei. Das ist nun in der That der Fall, doch sind in der französischen die 15 Demonstrationen der lateinischen Ausgabe weggelassen und ist das Postscriptum verkürzt.

setzt und bei *Y* einen Ablasshahn besitzt. Das obere Ende von *M* mündet in den weiten allseitig geschlossenen Cylinder *NN*, aus dessen Boden das durch Hahn verschließbare sich nach oben wendende Rohr *X* austritt. In *H* mündet sodann das sich trichterförmig erweiternde Rohr *G G*, welches bei *S* ein sich nach unten öffnendes Ventil einschließt, während *T* mit einem ebensolchen, sich nach oben öffnendem versehen ist. Endlich besitzt der Cylinder *D* noch das Rohr und den Hahn *n*. Im Cylinder *D* befindet sich der Schwimmer *FF*, in den der einfache Blecheylinder *II* eingesetzt ist. Durch *L* wird in diesen ein Stück in Glut versetztes Eisen gebracht, auf das nach Schließung von *L* bei Öffnung des Hahnes *E* der Dampf trifft

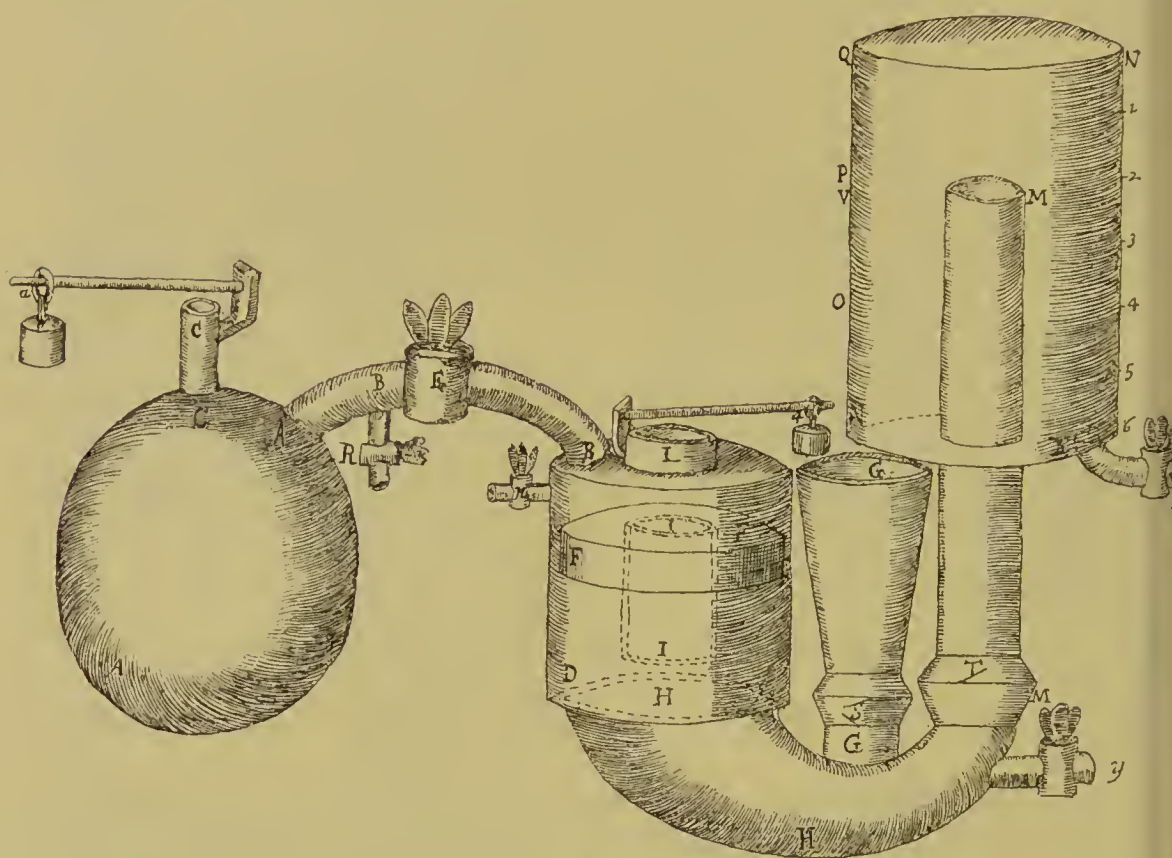


Fig. 223.

und expandierend den Schwimmer und das ihn tragende Wasser mit kräftigem Stöße vor sich hertreibt. Dies presst die Luft in *NN* zusammen, die dann sich langsam wieder ausdehnend das Wasser in *X* emporreibt. Nach Beendigung des Hubes des Schwimmerkolbens *FF* wird der Hahn *n* geöffnet, der Dampf entweicht und das den Trichter *G* anfüllende Wasser steigt nach *D*.

Zum Verständniss der Maschine muss man im Auge behalten, welche Aufgabe ihrem Erfinder der Landgraf Karl von Hessen gestellt hatte. Die Maschine sollte Wasser pumpen und das gehobene Wasser sollte auf ein Wasserrad aufgeschlagen werden, welches wiederum eine Kornmühle

treiben sollte. Für diese nach unseren Begriffen äußerst ungeschickte Aufgabenstellung ist Papin nicht verantwortlich; es erklären sich jedoch Einzelheiten seiner Maschine daraus. Ob freilich Papin eine andere Fragestellung gewählt hätte, wenn er freie Hand hatte, steht dahin. Missbilligend hat er sich darüber Leibniz gegenüber jedenfalls nicht ausgesprochen.

Mit folgenden Worten vergleicht¹⁾ nun Papin seine Maschine mit der von Savery. »Damit man nicht irre in der Wahl zwischen Herrn Saverys und meiner Maschine, werde ich die Vorzüge der letzteren auseinandersetzen. Zuerst lässt sich die Retorte *AA* (Fig. 223), da sie sich ganz im Feuer befindet, rascher und mit weniger Kosten erwärmen, als die beiden Gefäße, welche Herr Savery Kessel nennt. Ich bemerke zweitens, dass die heißen Dämpfe, welche von da in die Pumpe treten, um das Wasser heranzutreiben, in der Maschine kaltem Wasser begegnen, welches sie niederschlägt und den größten Teil ihrer Kraft vernichtet. Besonders, wenn das Wasser sehr hoch gehoben werden muss, ist es unmöglich, dass die Dämpfe stark genug auf das kalte Wasser drücken, ohne niedergeschlagen zu werden und erst nachdem das Wasser erwärmt ist, kann man es auf 20—25 Fuß Höhe heben. Um das Wasser auf diese Art zu erwärmen, bedarf man sehr viel Dampf: es ist deshalb das Wasser in der Retorte oft zu erneuern und man braucht viel Zeit und Holz, um es wieder zu erwärmen. Aber mittels unseres Kolbens *FF* treffen die Dämpfe immer dieselbe Oberfläche des Metalls, welches bald so stark erwärmt wird, dass die Dämpfe nichts oder nur sehr wenig Kraft sich niederschlagend verlieren. — Ich mache drittens darauf aufmerksam, dass Herr Savery seine Pumpen durch Ansaugen füllen will, wenn die Dämpfe, welche das Wasser aus der Pumpe gedrängt haben und sich erkaltend niederschlagen einen luftleeren Raum zurücklassen, welcher sich mit Wasser füllen muss, das durch ein am Grunde der Pumpe angelötetes Rohr emporsteigt. Nun ist es richtig, dass im Anfang der Arbeit dies gelingt und eine ähnliche Anordnung haben wir früher auch getroffen: Aber wir haben uns längst überzeugt, dass im Verlaufe der Arbeit alle Teile sich so stark erwärmen, dass eine überaus lange Zeit nötig ist, um eine für das Ansaugen genügende Abkühlung zu erreichen. Es war deshalb notwendig zu unserem Gefäße *GG* unsere Zuflucht zu nehmen, welche das Wasser durch sein Gewicht aber nicht durch Ansaugung in die Pumpe *DD* treibt und damit die heißen Dämpfe, welche in der genannten Pumpe vorhanden sind, den Eintritt des Wassers nicht hindern, öffnet man den Hahn *n* und lässt die heißen Dämpfe so lange mit Ungestüm austreiben, bis man mit ihnen Wasser zum Vorschein kommen sieht: dann ist man sicher, dass die Pumpe voll ist, man schließt rasch den Hahn *n* und öffnet den Hahn *E* und so wiederholen sich auf das prompteste die Operationen, ohne dieses Mittel würde

1) Papin, *Ars nova etc.* Cassel 1707.

der Übelstand, von dem ich in diesem Abschnitte rede, hinreichen, um die ganze Maschine unwirksam zu machen. Viertens ist das rotglühende Eisen, welches durch die Öffnung *L* eingeführt wird, ebenfalls ein wichtiges Mittel zur Verbesserung dieser Maschine: Denn dadurch erhalten die Dämpfe, welche mit Ungestüm gegen das Eisen stoßen, eine noch größere und heftigere Ausdehnung, wie in der Retorte *AA*: und dadurch braucht man ein gut Teil weniger und sie üben doch eine kräftigere Wirkung aus, als wenn das glühende Eisen nicht da wäre. Fünftens werde ich, um unwiderleglich nachzuweisen, dass der Kolben *FF* notwendig ist, um das Wasser zu einer einigermaßen beträchtlichen Höhe zu heben, weil die Dämpfe sich niederschlagen, sobald sie mit einer Kraft auf das kalte Wasser treffen, welche man um das Wasser 25 Fuß hoch zu heben bedürfte, hier über einen Versuch berichten, den wir angestellt haben. Wenn nämlich unsere Maschine keinen Kolben hatte, sah man das Wasser in die freie Luft mit ziemlich guter Wirkung emporsteigen; wenn man aber den Behälter *NN* anwendete, um das nämliche Wasser in etwas zusammengedrückter Luft aufsteigen zu lassen, so hatte man ganz und gar keinen Erfolg: Statt dessen erreichte man mit dem Kolben immer eine gute Wirkung, obgleich der Widerstand der zusammengepressten Luft in *NN* zehn- oder zwölfmal so groß war, wie der, welcher ohne Kolben nicht überwunden werden konnte.«

Es erschien wünschenswert, diese Kritik, die Papin an Saverys Maschine geübt hat, indem er seine eigene rechtfertigt, im Wortlaute mitzuteilen, denn sie zeigt einen so wesentlichen Fortschritt von Papins Anschauungen gegen seine früheren, dass man mit Erstaunen fragt, wie er dieselben so rasch gewinnen konnte. Nicht nur zeigt er richtige Kenntnisse von der Spannkraft, auch die Benutzung der Expansion ist eine in hohem Grade bemerkenswerte. Nicht theoretische Betrachtungen sind es gewesen, die diesen ungeheueren Fortschritt bedingten, er kommt lediglich dem geschickt angestellten und dem vorurteilsfrei gedeuteten Versuche zu und es sind wenige Abschnitte in der Geschichte der Naturwissenschaften, welche dies so klar vor Augen führen, welche zeigen, wie ihr Fortschritt lediglich auf diese Weise zu erreichen war. Gerade diese Versuche aber lassen Papin als einen der größten Experimentatoren erscheinen, dessen Versuchs-Ergebnisse, die ihn zu neuen Anschauungen rasch emporhoben, von seiner Zeit freilich nicht verstanden werden konnten. Ist es dieser auch zu verzeihen, wenn sie ihn von abenteuerlichen Ideen beherrscht glaubte, so gereicht es unserer Zeit wahrlich nicht zur Ehre, dass sie dies Vorurteil immer noch nicht abgeworfen hat und immer noch die Möglichkeit festhält, dass er sich durch solche habe leiten lassen.

Das wäre aber der Fall gewesen, wenn er die Maschinen, deren Wesen wir schilderten so, wie sie waren, zum Betriebe eines Dampfbootes hätte verwenden wollen und das hätte er doch thun müssen, wenn die Legende

recht hätte, die ihn 1707 auf einem Dampfschiffe von Kassel nach Münden fahren lässt, in einem Dampfschiffe, mit dem er auch von Bremen nach England gefahren wäre, wenn es ihm die Mündener Schiffer nicht zerstört hätten. Den Plan, ein Dampfschiff zu bauen, hatte allerdings Papin, er hatte auch mit den Vorarbeiten bereits begonnen in derselben logischen Denkweise langsam und konsequent fortschreitend, wie wir dies von seinen anderen Arbeiten kennen; gebant hat er es nicht.

Nicht also das Dampfschiff, wohl aber die in Fig. 223 dargestellte Dampfmaschine wurde wirklich ausgeführt und im Juli oder August 1706 auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft. Leider waren die einzelnen Stücke, aus denen das Steigrohr bestand, trotz des Experimentators Warnung so schlecht zusammengefügt, dass das Wasser bald aus allen Ritzen hervorquoll und der Landgraf, der ja den Versuch für sich anstellen ließ, nur auf inständiges Bitten Papins dessen Fortsetzung gestattete. Dabei stieg denn trotz der übergroßen Verluste das Wasser doch gegen 70 Fuß hoch und somit war die Richtigkeit von Papins Voraussetzungen glänzend bewiesen. Doeh hatten diese Versuche ihn auch auf mehrere verbesserungsbedürftige Punkte aufmerksam gemacht. Es fehlte an einer Vorrichtung zum Speisen der Retorte. Um sie zu erhalten, gedachte Papin zwei Hähne übereinander anzubringen, deren oberer bei geschlossenem unteren das Einbringen von Wasser in ein zwischen ihnen befindliches Röhrenstück durch sein Öffnen erlaubte, dass dann der geöffnete untere bei geschlossenem oberem in die Retorte gelangen ließ, während Leibniz den dabei eintretenden Dampfverlust auf seinen kleinsten Wert durch Anwendung eines einzigen mit einer Nisehe versehenen Hahnes, der hin und her gedreht werden sollte, zu erreichen für möglich hielt.

Den aus *n* entweichenden heißen Dampf wollte Papin gegen die Retorte strömen und ihn zu ihrer Erhitzung beitragen lassen; auch hinsichtlich dieses Punktes machte Leibniz den sachgemäßen Vorschlag ihn zur Erwärmung der Luft im Windkessel zu benutzen und so deren Druck zu erhöhen. Der Dampf wurde ja verfügbar, sobald das Wasser in den Windkessel eingetreten war. Da das beim neuen Hub wieder eintretende Wasser die Luft in *NN* dann wieder abkühlte, so wird man nicht umhin können in diesem Vorschlag Leibnizens die erste Idee der kalorischen Maschine zu sehen. Dafür sprechen auch die Worte, mit denen er seinen Vorschlag in dem Brief an Papin vom 4. Februar 1707 einleitete¹⁾: »Ich habe immer daran gedacht, dass man eine große Wirkung erzielen und eine bedeutende Menge Kraft in einem kleineren Raume aufspeichern könne, mit Hilfe komprimierter und nachher erwärmter Luft, welches von großem Nutzen für die fortzubewegende Maschine sein müsste.«

Nach alle diesem kann kein Zweifel sein, dass Papin seine Maschine selbständig erdacht und von keiner anderen Erfindung, am wenigsten von

1) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 374. Vgl. Wiedemanns Annalen. VIII. S. 357.

der von Savery beeinflusst gewesen ist. Sind beide Erfindungen nicht unabhängig voneinander, für welche Annahme jedoch kein Grund vorliegen dürfte, dann hat Savery, der Papins Schriften recht wohl kennen konnte, Papinsche Gedanken, aber nicht umgekehrt benutzt. Zu Papins großem Ärger blieb der beschriebene Versuch der einzige, welcher mit der Maschine angestellt wurde. Er verließ noch im Jahre 1707 Kassel und begab sich nach London, wo es ihm aber nicht glückte, die Erfindung der Dampfmaschine weiter zu fördern. Es bleiben aber noch einige Versuche und Erfindungen hier zu besprechen, die theils ihm, theils Leibniz gehören.

11. Weitere Arbeiten Papins und Leibnizens. Das Aneroid.

In den langen Pausen, die Papin während des Baues seiner Dampfmaschine zu machen gezwungen war, verfolgte er andere Ideen weiter, von denen, wie bereits angedeutet wurde, die wichtigste die war, die Dampfmaschine zur Fortbewegung von Schiffen zu benutzen. Dazu mussten aber erst einige ebenso wichtige, wie unerlässliche Vorarbeiten ausgeführt werden. Vor allen Dingen bedurfte er eines Mechanismus, mit dessen Hilfe es möglich war, die Arbeit der Maschine zum Rudern zu benutzen. Als solcher erwiesen sich ihm die Ruderräder am zweckmäßigsten, die eben aufgefunden und durch Prinz Ruprecht von der Pfalz, welcher mit einem von ihnen bewegten Schiffe die Themse befahren hatte, allgemein bekannt geworden waren. Ein solches Schiff mit Ruderrädern baute nun Papin, um zunächst deren Wirkung zu erproben. Kurz vor seiner Abreise von Kassel, die er auf demselben Schiffe bewerkstelligte, machte er die betreffenden Versuche, zu denen Leibniz von Hannover herübergekommen war. Das Ergebnis war durchaus zufriedenstellend. Es sind dies die Versuche, die zu der so lange hartnäckig behaupteten Sage Veranlassung gegeben haben, Papin habe die Fulda mit einem Dampfschiff befahren. Dass es sich nur um die Ruderräder handelte, geht auch aus dem Brief hervor, den Leibniz dem scheidenden Freunde als Empfehlung an den damaligen Sekretär der Royal Society, an Dr. Sloane (1660—1752) mitgab und der datiert vom 23. September 1707 mit den Worten beginnt¹⁾: »Argonante bin ich auf dem Schiffe, um es mit dem neuen aus drehbaren Flügeln bestehendem Ruder den Fluss befahren zu sehen.« Es ist bereits erwähnt, dass Papin sein Schiff bei der Reise nach England verlor und dass seine Hoffnungen auf gute Aufnahme und Unterstützung seitens der Royal Society sich nicht erfüllten.

Dieses Scheitern seiner Pläne hat für uns freilich den Vorteil gehabt, dass er alles, was ihm an erprobten und zu erprobenden Ideen zur Ver-

1) Gerland, Sitzungsberichte der Berliner Akademie der Wissenschaften. Physikalisch-mathematische Klasse. XLIV. S. 979.

fügung stand, der Royal Society anbot und dass diese uns so erhalten sind. Dass ihm die antiseptische Wirkung der schwefeligen Säure, das Konservieren durch Auskochen mit nachherigem luftdichten Verschluss bekannt war, sahen wir. Nun machte er den Vorschlag eines Apparates zum Einatmen verdichteter Luft, was für gewisse Krankheiten heilsam sein sollte, er schlug besondere Gewächshäuser zur Acclimatisation exotischer Pflanzen vor, verfertigte ein Kunsts Schloss, ohne durch alle diese schönen Ideen und Arbeiten, die damals zum Teil verfrüht waren, seine äußere Lage verbessern zu können.

Von besonderer Wichtigkeit wurden eine Reihe von Arbeiten, die den Zweck verfolgten, Häute durch Kochen in Öl für die Luft undurchdringlich zu machen. Er stellte so das erste Luftkissen her, versprach auch Leibniz ein zu senden, scheint aber sein Versprechen nicht eingelöst zu haben. Doch beabsichtigte der letztere, sich dieses Leders zur Herstellung eines Aneroidbarometers zu bedienen. »Man erzählt mir«¹⁾, schreibt er am 21. Juni 1697 an Papin, »von einem transportablen Barometer mit Quecksilber, ich glaube, dass man eines ohne Quecksilber durch eine Art von wohl geschlossenem Blasebalg oder nach Art einer Pumpe herstellen könnte.« Und am 3. Februar 1702 an Johann Bernoulli in Gröningen²⁾: »Ihre Barometerkonstruktion [von derselben wird sogleich die Rede sein] ist äußerst geistvoll und durchaus brauchbar. Ich habe auch zuweilen an ein tragbares Barometer gedacht, welches in einem einer Uhr ähnlichen kleinen Behälter eingeschlossen werden könnte. Quecksilber soll dabei nicht zur Verwendung kommen, statt dessen eine Art Blasebalg, welchen das Gewicht der Luft zusammenzudrücken sucht, während er durch die Kraft irgend einer elastischen Feder Widerstand leistet.« Die letzte Bemerkung über den interessanten Entwurf macht Leibniz in dem Brief an Papin vom 26. September 1702. »Ich verfolgte«, sagt er³⁾, »mit dem Leder oder anderen für die Luft undurchdringlichen Säcken einen Zweck, welcher wichtiger war, als er anfangs schien und ich werde eines Tages Gelegenheit haben, Sie davon zu unterhalten.« So kann man sich ein vollständiges Bild des Planes von Leibniz machen; nur über die Art, wie er die Ablesungen machen wollte, ist uns nichts erhalten.

Wie wir hier demnach bei Leibniz die erste Idee des Aneroidbarometers deutlich ausgesprochen finden, so bergen seine hinterlassenen Papiere noch eine Menge Pläne und Untersuchungen, welche jedoch in den meisten Fällen zu Experimenten nicht geführt haben. Man staunt auch bei Durchsicht dieser über des großen Gelehrten Vielseitigkeit, die ihn neben den

1) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 288.

2) Gerhardt, Leibnizens mathematische Schriften. II. Abt. Bd. III. Halle a. S. 1856. S. 692.

3) Gerland, Briefwechsel u. s. w. S. 269.

abstrakt wissenschaftlichen Problemen die Konstruktion von Wagen, den Aufgaben der Schifffahrt sich haben befassen lassen. Dass er eine »machina coelestis« entworfen hat, haben wir bereits gesehen. Auch eine Rechenmaschine hat er ausführen lassen; sie ist noch in Hannover vorhanden.

Amontons und Fahrenheit.

1. Amontons' Verbesserung des Barometers und Thermometers.

Wir haben die Erfindung der Dampfmaschine soweit verfolgt, wie sie noch im Stadium des physikalischen Versuches verharrte. Sie wurde bald durch New Comen, der Papins Arbeiten durch Hookes Vermittelung kennen gelernt hatte, für die technische Verwendung fähig gemacht. Nur deshalb haben wir dieser Maschine hier Erwähnung zu thun, als sie die Richtigkeit von Papins Schlussfolgerungen bewies, als sie ihm dadurch den Ruhm die Dampfmaschine erfunden zu haben sichert. Andere Entwürfe für die Herstellung von »Feuermaschinen«, die damals auch aufzuleuchten, haben es eben zu irgend welcher Verwendung nicht bringen können.

Zu diesen gehört namentlich die rotierende Feuermaschine des Pariser Akademikers Amontons¹⁾, die bei den Zeitgenossen großes Aufsehen erregte. Sie bestand aus einem Rad, welches senkrecht zur Achse in vier Abteilungen geteilt war. Jede dieser Abteilungen enthält wieder zwölf Kammern, von denen die der einen mit Luft gefüllt waren, während die Bestimmung derer der benachbarten war, Wasser aufzunehmen. Je eine Luftkammer stand in solcher Weise mit einer Wasserkammer in Verbindung, dass die sich ausdehnende Luft das Wasser aus einer Kammer in eine andere trieb und so das Rad in Drehung versetzte. Dabei wurde die Luftkammer nach unten geführt und kühlte sich, nunmehr aus der Nähe des Ofens entfernt, ab, während eine folgende erhitzte Luftkammer eine neue Drehung in dem nämlichen Sinne hervorrief. Weniger ihre Brauchbarkeit für technische Zwecke, als die hübsche ihr zu Grunde liegende Idee mag Ursache geworden sein, dass diese nach allen Seiten durch neue Entwürfe auszubeuten versucht wurde, ohne dass sie irgend welchen Erfolg erzielt hätten.

Ebenso ideenreich, aber von ungleich höherer praktischer Bedeutung sind die Arbeiten Amontons' zur Verbesserung und Neueinführung der Instrumente zu meteorologischen Beobachtungen. In richtiger Würdigung der Wichtigkeit der Kenntnis des Barometerstandes für den Seefahrer suchte er ein für diesen brauchbares Wetterglas herzustellen²⁾. Er wollte

1) Amontons, Mémoires de l'Académie Française. 1699. S. 112.

2) Amontons, Remarques et expériences physiques. Paris 1665. S. 121.

die veränderliche Länge der vom Luftdruck getragenen Quecksilbersäule ablesbar zu machen, ohne ein Gefäß benutzen zu müssen, in welches das Quecksilber aus dem Barometerrohr treten müsse; denn infolge der Schwankungen des Quecksilbers in einem solchen war immer die Gefahr vorhanden, dass Luft in das Barometerrohr eintrete. Um diesen Zweck zu erreichen, ließ er den Hohlraum des Barometerrohres sich nach unten zu verengern, indem er jedoch nicht versäumte, ihre untere Öffnung zum bequemen Einfüllen des Quecksilbers trichterförmig zu gestalten. Fig. 224 ist eine Nachbildung seiner ein solches Barometer darstellenden Figur. Das Rohr wurde auf ein Brett befestigt, das oben eine Teilung in zehn gleiche Teile trug. Wurde das mit Quecksilber gefüllte Rohr umgekehrt, so sank die Flüssigkeit in ihm soweit herab, dass ihre Länge dem Barometerstand gleich wurde, den ein gewöhnliches Heberbarometer angezeigt hätte. Die Viskosität des Quecksilbers aber hinderte dies am Herausfallen. Die Skala war so angebracht, dass bei dem tiefsten Barometerstande das oberste Ende der Quecksilbersäule an ihrem untersten Punkte sich befand. Nach der Ablesung wurde das Barometer wieder umgekehrt, dabei aber ein zu heftiges Anstoßen des Quecksilbers an das geschlossene Rohrende vermieden.



Fig. 224.

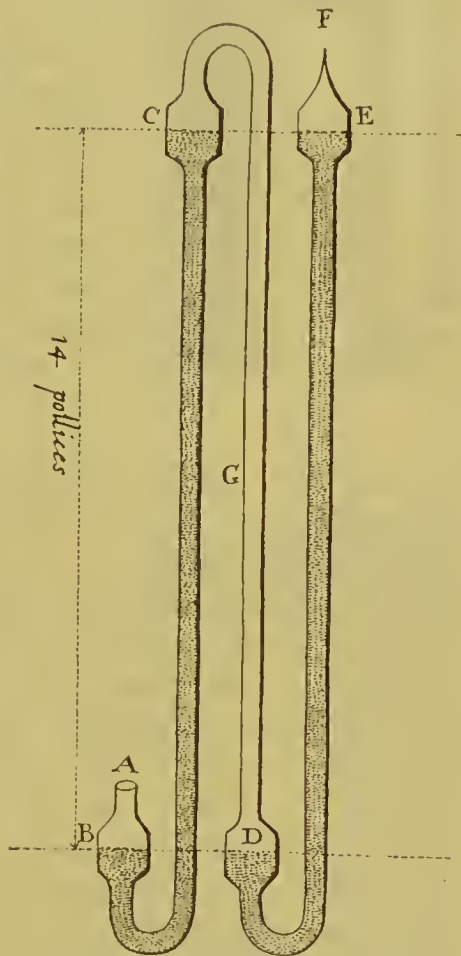


Fig. 225.

Ein anderer Plan Amontons¹⁾, den Fig. 225 zur Darstellung bringt, suchte ein abgekürztes Barometer herzustellen. Dazu zerlegte der Pariser Akademiker das Barometerrohr in zwei Teile AC und DF und verband diese durch das mit trockener Luft gefüllte Röhrenstück CGD . So konnte er ein Doppelbarometer von nur 14 Zoll Länge herstellen, teilte er das Rohr in drei Teile mit zwei Verbindungsstücken, gar nur von 9 Zoll Länge.

1) Amontons, Acta Eruditorum 1688. S. 374.

Den Einfluss der Lufttemperatur dabei zu berücksichtigen, lag ihm, wie man sieht, noch fern.

Um die Thatsache, dass bei Sturm das Barometer niedrig zu stehen pflegt, zu erklären¹⁾, konstruierte er den Apparat Fig. 226. *ADBF* ist ein cylindrisches Holzgefäß, in dessen unteren Teil ein mit einem Hahn *B* verschließbares Rohr *GB* mündet. Goss man in das große Gefäß bei geöffnetem Hahn Wasser, so stellte es sich in diesem ebenso hoch, wie in dem seitlichen Rohr. Wurde dann der Hahn *B* verschlossen, das Wasser in *ADFB* mittels eines spatelförmigen Stückes Holz in möglichst heftige wirbelnde Bewegung versetzt und dann *B* wieder geöffnet, so sank das Wasser in *CB*, das vorher bis *C* gestanden hatte, bis *E* herab.

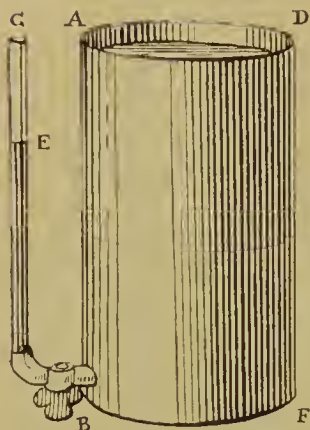


Fig. 226.

Wenn nun auch Amontons' Barometer zu häufigerer Verwendung nicht gekommen sind, so zeichneten sie sich vor den Konstruktionen vieler Zeit-

genossen doch auf das vorteilhafteste durch die neuen zu Grunde liegenden Gedanken aus. Das tritt sofort hervor, wenn man das von Cassini (1677—1756) erdachte, von Joh. Bernoulli (1667—1748) 1716 zur Ausführung gebrachte Barometer (vgl. S. 239) oder das Morelandsehe Winkelbarometer dagegen hält. Beide Instrumente sollten eine genauere Ablesung ermöglichen und zu diesem Zwecke wurde der Teil des Barometers, vor dem die Skala angebracht werden sollte, mehr oder weniger horizontal gelegt. Moreland²⁾ (1625—1695), nach Leupold vor ihm noch Rammazini³⁾ (1633—1714) brachte sie an dem oberen Teil des Rohres eines Gefäßbarometers an, den er knieförmig bog, Cassini und Bernoulli⁴⁾ am kurzen Schenkel des Heberbarometers, dessen langen sie oben zu einer Kammer erweiterten. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ließen sie den unteren Teil wohl auch in Schlangenwindungen verlaufen. Hooke⁵⁾, von dessen Radbarometer weiter unten noch die Rede sein wird, nahm zu dessen Herstellung den Gueriekesehen Schwimmer wieder auf, sein See- oder Marinebarometer aber war nichts anderes, als das Galileisehe oder Fluddsche Luftthermometer, neben dem ein Alkoholthermometer zur Bestimmung der Temperatur aufgestellt war. Eine neben dem ersteren angebrachte, mit Zeiger versehene verschiebbare Skala erlaubte den Barometerstand mit hinreichender Genauigkeit abzulesen, wenn man den Zeiger auf der Skala des Luftthermometers auf die Temperatur einstellte, die das Alkoholthermometer angab⁶⁾.

1) Amontons, Remarques etc. S. 142.

2) Vgl. Gehler, Phys. Wörterb. I. S. 773 und 774.

3) Gilberts Annalen II. S. 334.

4) Bernoulli, Acta Eruditorum. 1716. S. 10.

5) Hooke, Micrographia. London 1667. Schem. I. Fig. 1.

6) Halley, Philosophical Transactions. No. 269. S. 791. Desaguliers, II. S. 391

Größere Genauigkeit der Ablesung suchte dagegen Derham¹⁾ (1657–1735) dadurch zu erreichen, dass er einen an einer Zahnstange befestigten Zeiger auf die Kuppe des Quecksilbers im kurzen Schenkel des Heberbarometers einstellte und so ein Getriebe und einen zweiten auf seiner Achse befestigten über eine Teilung spielenden Zeiger bewegte. In höherem Grade erreichte dieses Ziel Stephen Gray²⁾ (gest. 1736), als er 1698 den Vorschlag machte, die Ablesungen des Barometerstandes mit Hilfe eines an einer senkrechten Säule *BB* verschiebbaren Mikroskopes *F* zu machen, wie Fig. 227 erläutert. Auf der Säule wurden die größeren Höheneinheiten (Zolle), auf der Kreisteilung *K* mittels des mit der das Mikroskop bewegenden Schraube *II* verbundenen Zeigers *on* die Unterabteilungen jener abgelesen. Es ist dieser Apparat wohl als erstes Kathetometer zu betrachten. Auch das Wagebarometer von Moreland³⁾ hat sich als brauchbar erwiesen. Wird es doch noch jetzt nicht selten als registrierendes Barometer verwendet. Es hing an dem einen Balken einer zweiarmigen Hebelwage, dessen anderer Balken ein für den mittleren Barometerstand äquilibrirtes Gewicht trug.

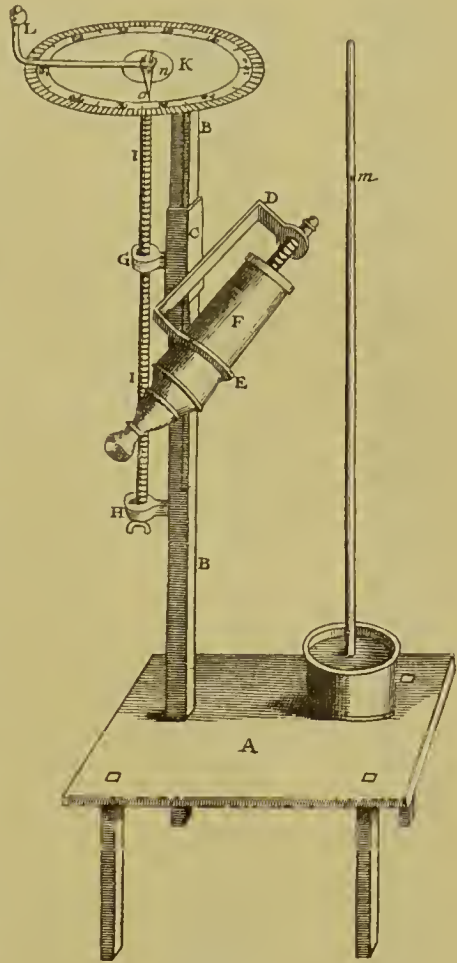


Fig. 227.

Den Apparat, welchen Amontons zur Messung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft konstruierte⁴⁾, bildet Fig. 228, S. 244, ab. Er sucht eine Idee zu verwirklichen, deren Brauchbarkeit dadurch am besten gekennzeichnet wird, dass sie fast hundert Jahre später Delue allerdings in verbesserter Form wieder aufnahm. Das Hygrometer Amontons' bestand aus einer Glasröhre, welche sich oben in die Kugel *A*, unten in die *B* erweiterte, von denen jede eine kleine Öffnung hatte, jene bei *G*, diese bei *C*. Die untere war von einer weiteren bei *E* mit Mastix ange kitteten Kugel aus Buchenholz, Horn oder Lammsleder umschlossen und enthielt, ebenso wie der untere Teil von *C* Quecksilber. Auf ihm befand sich eine Flüssigkeit

1) Derham, Philosophical Transactions 1698. No. 237. S. 45.

2) Gray, Philosophical Transactions 1698. No. 240. S. 176.

3) Hutton, Dict. I. S. 207. Vgl. Gehler, Phys. Wörterbuch. I. S. 773.

4) Amontons, Mémoires de l'Académie Française. Paris 1688. S. 245.

von niedrigem Schmelzpunkt, auf welche etwas Öl gegossen war. Ihr oberes Ende ließ auf der Skala, welche auf dem den Apparat tragenden Brette *AI'* angebracht war, erkennen, ob sich der Durchmesser der Kugel verengert oder erweitert und daraus darauf schließen, dass die Luftfeuchtigkeit ab- oder zunahm. Behaupten hat sich dies Hygrometer freilich nicht können.

Während dieser Apparat ganz neu von Amontons geschaffen wurde, suchte er ein brauchbares Thermometer zu erhalten, indem er, angeregt durch Hookes Marinebarometer, das Luftthermometer von den Einwirkungen des wechselnden Luftdruckes zu befreien suchte. Den Apparat, den er verwendete, zeigt Fig. 229. Er besteht aus einem Heberbarometer *AGC*, welches bei *C* in eine Kugel erweitert ist und in ein oben gleichfalls eine Kugel tragendes dünnes Rohr *CF* ausläuft. Bei *A* und *F* ist die Röhre hermetisch verschlossen; *AB* ist ein luftleerer, *FE* ein mit Luft gefüllter Raum. *BGC* ist mit Quecksilber gefüllt, *FC* mit einer Lösung von Kalikarbonat bis *D*, von da bis *E* mit Steinöl. Der Apparat ist auf ein Brett befestigt, welches neben *CF* eine Gradeinteilung trägt.

Die Art, wie der Apparat von dem Künstler des Königs Hubin dargestellt wurde, ist nach Amontons' Beschreibung die folgende¹⁾. »Man befestigt mit Siegelack einen kleinen Glastrichter an *F*, gießt dann in das aufrecht gestellte Glas ohne Unterbrechung Quecksilber, indem man ihn immer voll hält, bis es über *B* steht. Dann hört man mit Zugießen auf, die Luft, welche sich oben in dem Gefäß *C* befindet, stößt das wenige,

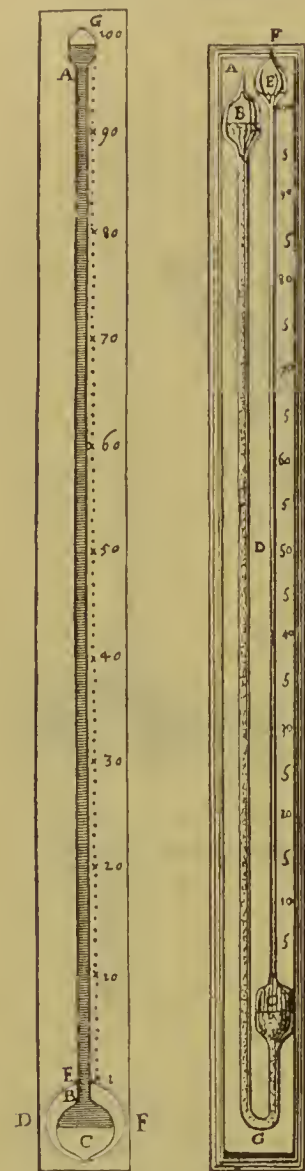


Fig. 228.

Fig. 229.

im Rohre *D* vorhandene Quecksilber zurück, worauf das Quecksilber des Gefäßes *B* in das Gefäß *C* steigt, bis es die gleiche Höhe wie im Rohre *BG* erreicht hat. Man gießt nun von neuem Quecksilber in den Trichter und fährt damit so lange fort, bis es sich $\frac{1}{2}$ Zoll unter *A* befindet und lässt dann, was zu viel ist, ausfließen, indem man das Gefäß ein wenig neigt. Um das Ende *A* zu verschließen, lässt man das Glas in dem Zustande, in dem es sich befindet, also bis $\frac{1}{2}$ Zoll unter *A* mit Quecksilber gefüllt, von jemandem halten oder stützt es besser gegen einen Tisch oder einen anderen festen Gegenstand und bläst mit einem kleinen Glas- oder

1) Amontons, a. a. O. S. 150 ff.

Kupferrohre, von dem man das Ende des längeren Armes in den Mund nimmt und das kürzere nahe an eine große Kerzenflamme hält, diese Flamme auf das Ende *A*, welches rot wird und die die Form einer kleinen Kugel annimmt; man muss sich dabei wohl in acht nehmen, dass man diese Flamme nicht an die Stelle bläst, an welcher sich das Quecksilber befindet. Wenn man einen geübten Arbeiter zu seiner Verfügung hat, geht das ganz leicht.

Ist nun das Ende *A* geschlossen, so kehrt man das Glas um, indem man unter den Trichter ein Gefäß hält, in welches das Quecksilber fließt, welches von *F* bis *G* enthalten war, indem solches nur von *G* bis *A* bleibt. Darauf muss man das Glas wieder in seine frühere Lage aufrichten, indem man wohl darauf achtet, dass der Schenkel *GA* unter dem Schenkel *GF* bleibt, damit nicht von der in *F* enthaltenen Luft etwas nach *BA* trete. Hat man dies gethan, so steigt das im Gefäße *B* enthaltene Quecksilber wieder in das Gefäß *C*; man gießt nun in den Trichter so viel gefärbtes Weinsteinöl [zerflossenes kohlen-saures Kali], dass es die Hälfte des Rohres *D* und die Hälfte des Gefäßes *C* anfüllt. Um diese Flüssigkeit rasch einfließen zu lassen, wenn der Trichter gefüllt ist, neigt man sanft das Glas, was auch notwendig ist, um die Luft, welche an ihm haftete, auszutreiben. Sie tritt aus, nachdem man das Glas ein wenig geneigt hat und nun in die frühere Lage zurückbringt. Doch muss man sich hüten, nicht zu viel dieser Flüssigkeit zu Anfang zu nehmen, weil es schwer ist, sie wieder zu entfernen; man bringt sie deshalb besser in mehreren kleinen Mengen ein.

Nachdem man so das Weinsteinöl eingebracht hat, gießt man in den Trichter so viel Steinöl, dass es ungefähr das ganze Rohr *D*, welches zwischen den Gefäßen *C* und *L* liegt, anfüllt, indem man eher etwas zu viel wie zu wenig nimmt, und entfernt nun den Trichter; lässt dann das Rohr 7 oder 8 Tage stehen, damit das Quecksilber während dieser Zeit einen Teil der Luft, welche es absorbiert hat, abgeben und jede der Flüssigkeiten ihren wahren Zustand annehmen kann, und schließt das Ende *F* ebenso wie das andere, wobei man sich hüten muss, die Luft im Gefäße *E* zu erwärmen, zu welchem Zwecke man es mit einem feuchten Leinenlappen bedeckt. Endlich ist nur noch übrig, das Thermometer auf der Unterlage zu befestigen«.

Wenn bei diesem Thermometer auch vom Auskochen des Quecksilbers und Trocknen der Luft noch nicht die Rede ist, so würde man doch recht genaue Beobachtungen damit haben anstellen können, wenn man in der Lage gewesen wäre, eine richtige empirische Skala aufzutragen. Eine solche fehlte noch, und sie suchte Amontons zunächst zu erhalten. Er veröffentlichte die Ergebnisse der dies erstrebenden Arbeit 1703 in den Memoiren der Pariser Akademie unter dem Titel: »Das Thermometer, zurückgeführt auf ein festes und sicheres Maß, und das Mittel, die mit den alten

Thermometern gemachten Beobachtungen daran anzuschließen¹⁾, einer Arbeit, welche noch im Jahre 1779 Lambert²⁾ zu dem Ausrufe begeisterte, dass sich Amontons darauf »recht viel zu gute halten konnte, und die vielleicht deswegen, weil sie zu schön und sehr wahr ist, Ungläubige vor sich fand«.

Amontons³⁾ beginnt mit der Kritik der Thermometer seiner Zeit und findet, dass ihre Grade durchaus kein Maß der Wärme abgeben, dass vor allem an ihre Stelle Brauchbareres gesetzt werden müsse. Da aber die große Masse des Weingeistes in den zu seiner Zeit gebräuchlichen Thermometern die Wärme zu langsam aufnimmt, so hält er es für richtiger, auf das Luftthermometer zurückzugehen, den durch das ungleiche Kaliber des Rohres etwa entstehenden Fehler dadurch vermeidend, dass er das Volumen konstant hält und den Druck ändert. Sein Luftthermometer bestand also, wie später das von Regnault, Magnus u. a. aus einem U-förmig gebogenen Glasrohre mit einem kurzen, zu einer Kugel aufgeblasenen geschlossenen und einem etwas über 45 Zoll langen offenen Schenkel. Diese Länge wählte er, weil er gefunden hatte, dass, wenn er den Apparat, bei dem Luftdrucke von 28 Zoll in siedendes Wasser tauchte, er eine Quecksilbersäule von 45 Zoll Höhe aufgießen musste, um das Volumen der Luft in der Kugel seinem ursprünglichen gleich zu halten. Befand sich die Kugel in schmelzendem Eise, so war für denselben Zweck nur eine Quecksilbersäule von $23\frac{1}{2}$ Zoll nötig, so dass in dem ersten Falle die Luft unter einem Drucke von $45 + 28 = 73$, in dem zweiten unter einem solchen von $23\frac{1}{2} + 28 = 51\frac{1}{2}$ Zoll stand. Nun hatte Amontons bereits 1695 gefunden, »dass ungleiche Massen Luft, unter gleichen Drucken stehend, ihre Spannkraft um denselben Wert durch Temperaturerhöhung um gleiche Grade vermehrten«, wobei er unter Graden versteht⁴⁾, »die Anzahl Zolle und Linien in Quecksilberhöhen, welche die Wärme der Spannkraft der Luft das Gleichgewicht zu halten ermöglicht, so dass es scheint, dass die äußerste Kälte dieses Thermometers diejenige wäre, bei welcher die Luft keine Spannkraft mehr ausüben könnte, also ein viel beträchtlicherer Kältegrad als der ist, den man für sehr kalt erklärt«.

Diese bisher viel zu wenig gewürdigten Arbeiten empfehlen also wie Huygens, dessen Vorschlag aber nicht in die Öffentlichkeit gedrungen und Amontons ganz sicher unbekannt war, den Siedepunkt des Wassers als zweiten festen Punkt des Thermometers, sie geben zum ersten Male die Definition des absoluten Nullpunktes der Temperatur; sie stellen end-

1) Amontons, Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Anno 1703. Avec le Mémoire de Mathématique et de Physique pour la même Année. Paris 1705. S. 50.

2) J. H. Lambert, Pyrometrie oder vom Maße des Feuers und der Wärme. Berlin 1779. S. 29.

3) Histoire de l'Académie Royale des Sciences 1703. Paris 1705. S. 156.

4) Histoire etc. 1703. S. 52.

lich das später nach Gay-Lussac genannte Gesetz der Proportionalität der Volumina derselben Luftmenge und ihrer absoluten Temperaturen bei ungeänderten Drucken auf. Da Amontons¹⁾ mit Baeo von Verulam und Newton das Wesen der Wärme in einer kontinuierlichen und sehr heftigen Bewegung der »Feinerteilehen« sah, die auf die Teilehen der festesten Körper einen Teil ihrer Bewegung übertragen können, so musste er als Temperatur des absoluten Nullpunktes diejenige ansehen, bei der die Bewegung der Teilehen aufhört, die Spannkraft der Luft Null wird.

Einem solchen schönen theoretischen Ergebnisse, das die moderne Wissenschaft erst in seiner ganzen Bedeutung gewürdigt hat, entspricht freilich die geringe Vorsicht, welche Amontons bei der Ausführung seiner Versuche anwendete, in keiner Weise. Daraus, dass er die Luft in seinem Barometer nicht trocknete, dürfte ihm freilich kaum ein Vorwurf zu machen sein, waren doch zu seiner Zeit, wie wir sahen, die Kenntnisse vom Wasserdampfe noch ganz unzureichend. Dass er aber bei der Benutzung des Siedepunktes des Wassers als zweiten festen Punkt des Thermometers die Abhängigkeit vom Barometerstande nicht bemerkte, ist Ursache geworden, dass seine Versuchsresultate an Wert weit hinter seinen theoretischen zurückstehen. So ergibt sich aus seinen Versuchen die Temperatur des absoluten Nullpunktes nur zu $-239^{\circ},5$ der 100teiligen Skala, und die Technik seiner Versuche geht nicht über die der Zeitgenossen hinaus. Sollten also Amontons' Arbeiten fruchtbringend werden, so musste die physikalische Technik entsprechend gefördert werden. Die Arbeiten, die dies erreichten, soll unser folgender Abschnitt betrachten.

2. Fahrenheit und die Verbesserungen des Thermometers.

Sollten die Thermometer eine wesentliche Verbesserung erfahren, so war ein entsprechender Fortschritt in der Kunst der Bearbeitung des Glases die notwendige Vorbedingung. Diesen Fortschritt machte um die Wende des 18. Jahrhunderts der Danziger Kaufmannssohn Fahrenheit (1686—1736), der den größten Teil seines Lebens in Amsterdam verbrachte. Von der Vortrefflichkeit seiner Arbeit legen zwei Thermometer Zeugnis ab, welche sich im physikalischen Kabinett der Universität Leiden befinden. Der Eispunkt des einen liegt bei $34^{\circ},2$, der des anderen bei $34^{\circ},1$. Obgleich sie den Namen Fahrenheit tragen, so würde man sie kaum für echt, vielmehr für jüngere Apparate halten, wenn nicht das eine 1724 von 's Gravesande abgebildet²⁾ und durch seine eigentümliche Form leicht zu identifizieren gewesen wäre. Es ist in Fig. 301 S. 306 zwischen den beiden

1) Histoire etc. 1703. S. 50 und 1702 S. 173.

2) 's Gravesande, Physices Elementa mathematica Experimentis confirmata. 3. Aufl. 1742. Tomus II. Taf. 81. Fig. 4.

Cylindern dargestellt. Die Thermometer mit cylindrischem Gefäße sind auf getheilten Messingplatten befestigt und die Theilungen sind so vorzüglich, dass man unwillkürlich auf den Gedanken kommt, Fahrenheit habe sich dazu maschineller Hilfsmittel bedient. Unmöglich wäre dies nicht, denn die erste Teilmaschine hat 1667 Richard Townley¹⁾ konstruiert, und so wäre es denkbar, dass Fahrenheit eine solche verwendet hätte. Doch ist es nicht sehr wahrscheinlich, da Fahrenheit selbst uns nichts darüber berichtet.

Wenn er der Londoner Royal Society auch erst 1726 Mittheilungen machte über die Art, wie er seine bewunderungswürdigen Apparate herstellte, so sind diese so ausführlich, dass er die Benutzung der Teilmaschine gewiss nicht unerwähnt gelassen haben würde. »Hauptsächlich«, so schildert er²⁾ seine Instrumente und ihre Bearbeitung, »werden zwei Arten von Thermometern von mir hergestellt, die eine mit Weingeist, die andere mit Quecksilber gefüllt. Je nach dem Gebrauche, dem sie dienen sollen, ist ihre Länge verschieden; alle haben aber das mit einander gemein, dass sie bei allen Skalenteilen übereinstimmen und zwischen festen Grenzen ihre Schwankungen ausführen. Die Skala der Thermometer, welche ausschließlich zu meteorologischen Beobachtungen dienen, fängt unten mit Null an und geht bis zum 96. Grade. Die Theilung dieser Skala stützt sich auf drei feste Punkte, welche künstlich auf folgende Art hergestellt werden können: Den ersten derselben findet man am untersten Ende oder am Anfange der Skala, und zwar erhält man ihn durch eine Mischung von Eis, Wasser und Salmiak oder auch Meersalz; stellt man das Thermometer in eine solche Mischung, so sinkt seine Flüssigkeit bis zu dem mit Null bezeichneten Punkte. Dieser Versuch gelingt besser im Winter als im Sommer. Den zweiten Punkt erhält man, wenn man Wasser und Eis ohne die erwähnten Salze mischt und in diese Mischung das Thermometer setzt; es wird dann seine Flüssigkeit den 32. Grad einnehmen, der von mir Anfangspunkt des Frierens genannt wird; denn es werden die stehenden Gewässer schon mit sehr dünnem Eise bedeckt, wenn im Winter die Thermometerflüssigkeit diesen Grad erreicht. Den dritten Punkt findet man beim 96. Grade, und zwar dehnt sich der Weingeist bis zu diesem Grade aus, wenn man das Thermometer im Munde oder in der Achselhöhle eines gesunden Menschen so lange hält, bis es ganz genau die Körperwärme erlangt hat. Wenn man aber die Wärme eines Fieberkranken oder eines an einer anderen Krankheit Leidenden erforschen will, muss man sich eines anderen Thermometers bedienen, dessen Skala bis zum 128 oder 132. Grade reicht. Ob diese Grade für die heftige Fieberhitze ge-

1) Townley, Philosophical Transactions. 1667. No. 29. S. 541.

2) Fahrenheit, Philosophical Transactions 1723 und 24. No. 382. S. 78. Übersetzt von A. v. Oettingen in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften. Nr. 57. Leipzig 1894. S. 6.

nügen, habe ich noch nicht erforscht, jedoch ist kaum anzunehmen, dass irgend eine Fiebertemperatur über diese hinausgehen sollte. Die Skala der Thermometer, mit welchen man die Temperatur siedender Flüssigkeiten untersucht, fängt ebenfalls mit Null an und enthält 600 Grade, denn bei diesem Grade ungefähr fängt das Quecksilber selbst, mit welchem das Thermometer gefüllt ist, zu kochen an. Damit aber die Thermometer auch von allen Veränderungen der Wärme schnell beeinflusst werden, haben sie an Stelle der Kugel Glaseylinder erhalten, da sie wegen der größeren Oberfläche schneller von der sich verändernden Wärme durchdrungen werden«.

Drei feste Punkte benutzte also Fahrenheit bei der Herstellung der Skala seiner Thermometer, von denen der eine als Kontrolle der beiden anderen dienen konnte, und diesem Umstande mag es zuzuschreiben sein, dass seine Instrumente eine viel bessere Übereinstimmung zeigten als die italienischen, die zu seiner Zeit hauptsächlich die Handelsware bildeten¹⁾. Noch aber hatte er die Konstanz des Siedepunktes nicht erkannt, obwohl er die Siedepunkte einiger Flüssigkeiten bestimmt hatte. Erst später belehrten ihn verschiedene Versuche²⁾, »dass dieser Punkt, der bei derselben Schwere der Atmosphäre derselbe bleibt, bei veränderter Schwere der Atmosphäre sich in verschiedenem Sinne ändern könne«. Damit hatte er die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke entdeckt, hatte seine Unveränderlichkeit erkannt. Ob er dann den Siedepunkt des Wassers bei der Herstellung seiner späteren Thermometer benutzt hat, wissen wir nicht, doch ist es nicht unmöglich. Jedenfalls aber ist es Fahrenheit gewesen, der zuerst den Eispunkt und Siedepunkt als wirklich unveränderliche Temperaturen erkannt hat.

Es wird nötig sein, diese Behauptung etwas näher zu begründen. Berichtet doch Hanow³⁾ (1695—1773), dass Römer (1644—1710) es gewesen sei, der Fahrenheit auf die Anwendbarkeit des Frierpunktes und Siedepunktes zuerst aufmerksam gemacht habe, schreibt man doch Newton die erste Anwendung des Siedepunktes bei der Herstellung von Thermometern zu und kannten doch bereits die Mitglieder der Accademia del Cimento die Unveränderlichkeit der Temperatur des Nullpunktes.

Was zunächst die Ansprüche anlangt, die für Newton erhoben wurden, so stützen sich diese auf die Versuche, welche er 1701 zur Begründung des von ihm aufgestellten Gesetzes des Erkaltens machte⁴⁾. Dazu verfertigte er sich Thermometer, bei denen er den damals üblichen Alkohol des höheren Siedepunktes wegen durch Leinöl ersetzte. Nach Desaguliers⁵⁾ Schilderung, der drei solcher Instrumente nach Newtons Anweisung hergestellt hat, betrug der Durchmesser der Kugel 2 Zoll, der

1) Wolf, Acta Eruditorum. August 1714. S. 380.

2) Fahrenheit, Philosophical Transactions. XXXIII. 1723/24. No. 385. S. 179.

3) Momber, D. G. Fahrenheit, Altpreußische Monatsschrift. XXIV. 1887. S. 11.

4) Newton, Philosophical Transactions. 1701. No. 270.

5) Desaguliers, A Cours of experimental Philosophy. Holländ. Übers. II. S. 375.

Durchmesser des Rohres $\frac{1}{2}$ Zoll, die Länge des Rohres drei Fuß, gewiss keine günstigen Abmessungen für genaue Temperaturbestimmungen. Das Rohr wurde dann mit Quecksilber kalibriert, dabei dessen Stände auf ein daneben gestelltes Stück Papier verzeichnet. Darauf wurde das nunmehr mit Leinöl gefüllte Thermometer auf einem Sandbade so weit erhitzt, dass das Öl fast die ganze Röhre erfüllte und, weiße Dämpfe ausstoßend, zu sprazzen begann. Das geschah, um dem Öle das Phlegma (das in ihm enthaltene Wasser) auszutreiben. Um dabei zu verhüten, dass das Thermometer sprang, hatte Newton die Kugel mit Thon umgeben, während Desaguiliers dafür Sorge trug, dass die Temperatur des Thermometers nahezu mit der des Bades übereinstimmte. Als feste Punkte wurden der Schmelzpunkt des Schnees und die Temperatur des gesunden menschlichen Körpers genommen, jene mit 0° und diese mit 12° bezeichnet, danach die Siedetemperatur des Wassers zu 34° , die des erstarrenden Zinkes zu 72° gefunden. Man hat daraus die Temperatur des Siedepunktes zu $104^{\circ},03$ der 100teiligen Skala berechnet und daher Gelegenheit genommen¹⁾, die Schärfe dieser Bestimmung zu bewundern, wohl nicht ganz mit Recht, da Newton die Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke, ebenso wie Amontons, unbekannt blieb.

Wenn demnach Römer wirklich Fahrenheit auf die Wichtigkeit jener Temperaturen für die Verfertigung von Thermometern aufmerksam machte, was übrigens von Bergen²⁾ keinesfalls über jeden Zweifel erhaben hält, so waren es gewiss nur die ungenau bestimmten der früheren Forscher. Die Sache selbst ist indessen durchaus nicht unwahrscheinlich, da Fahrenheit 1709 Römer in Kopenhagen besuchte, von da aber 1710 sich nach Danzig begab, wo er höchst wahrscheinlich mit Hanow, als einer der ersten, welcher mit einem Fahrenheit'schen Thermometer beobachtete, in Berührung kam.

Muss nun Fahrenheit deshalb als der erste bezeichnet werden, welcher die Unveränderlichkeit der Siedetemperatur beobachtete, weil er deren Abhängigkeit vom Luftdrucke entdeckte, so war auch er es, der zuerst fand, dass wohl der Schmelzpunkt des Eises, nicht aber der Gefrierpunkt des Wassers ebenso unveränderlich ist. Als er Versuche über das Gefrieren des Wassers machte, erhitzte er ein in einem Röhrchen auslaufendes Glaskügelchen von etwa 1 Zoll Durchmesser, in welches er etwas Wasser gebracht hatte, bis das Wasser daraus entwichen war, schmolz die Öffnung des Röhrchens zu und brach seine Spitze unter Regenwasser ab. Es füllte sich zur Hälfte mit dem Wasser. Darauf wurde es wieder erhitzt und als das Wasser kochte, wieder zugeschmolzen und auf 15° abgekühlt: es

1) Muncke in Gehler's physikalischem Lexikon. Neu bearbeitet. IX. S. 859.

2) v. Bergen, *De Thermometris mensurae constantis Commentatio*, Francofurti ad viadrum 1745 erzählt: cui (Fahrenheit) Roemerus, physicis ac astronomicis acutissime amicus congelationis ac ebullitionis terminos in conficiendo thermometris suggesserat, si Fides est Cl. Hanovio in Memorabilibus Gedanensibus.

blieb aber flüssig. Er schrieb die Erscheinung der Abwesenheit der Luft zu; denn als er die Spitze abbrach und Luft Zutreten ließ, wurde die ganze Masse Wasser aufs schnellste mit Eisstückchen erfüllt. Als er dann zufällig ein solches Kügelehen in eine andere Kammer tragen wollte, zu der er einige Stufen emporsteigen mußte, verfehlte er eine derselben, stolperte und sah nun zu seinem größten Erstaunen, bei der Erschütterung ebenfalls die Eisblättchen auftreten. Er erkannte da, dass der wahre Grund dieses plötzlichen Erstarrens die Erschütterung war, konnte jedoch weitere Versuche nicht anstellen, da Thauwetter eintrat¹⁾. Aber die Entdeckung der Möglichkeit der Überschmelzung lehrte ihn, dass als fester Punkt des Thermometers nur der Schmelzpunkt des Eises angenommen werden dürfe, und nicht, wie ihm Römer geraten hatte, der Gefrierpunkt des Wassers.

Nicht nur durch diese wichtigen Beobachtungen ermöglichte Fahrenheit die Herstellung zuverlässiger Thermometer, eine nicht weniger bedeutsame Verbesserung führte er ein, indem er den Alkohol als thermometrische Substanz durch Quecksilber ersetzte und so zu allgemeiner Anwendung brachte, was früher wohl vereinzelt versucht worden war. Dass er bereits Quecksilberthermometer anfertigte, haben wir gesehen, der vorzügliche Zustand, in dem sie sich noch am heutigen Tage befinden, legt Zeugnis dafür ab, dass er das Quecksilber in gut gereinigtem Zustande verwendete. Wie er es reinigte, hat er uns freilich nicht mitgeteilt; man wird annehmen dürfen, dass es durch Destillation geschah, wie man so gereinigtes Quecksilber bereits seit 1655 Dobezensky²⁾ zur Füllung von Barometern verwendete.

Die Entdeckung der Abhängigkeit des Siedepunktes vom Luftdrucke führte Fahrenheit auf die Erfindung des Hypsometers, dem er die in Fig. 230 dargestellte Form gab. »An den Cylinder *AB*«, so beschreibt er das neue Instrument³⁾, »wird eine Röhre *BC* angesetzt, an welche sich ein längliches, kleines kugelförmiges Gefäß schließt, *CD*, und an dieses wieder ein Röhrechen mit außerordentlich dünnem inneren Querschnitte, *DE*. Der Cylinder wird mit einer Flüssigkeit gefüllt werden, welche die Wärme des siedenden Wassers ertragen kann. In der Röhre *BC* werden die Wärmegrade, wie sie in der Luft vorkommen, mit Hilfe der hinzugefügten Skala *bc* gemessen werden. Wenn aber das Thermometer in siedendes Wasser gestellt wird, wird die

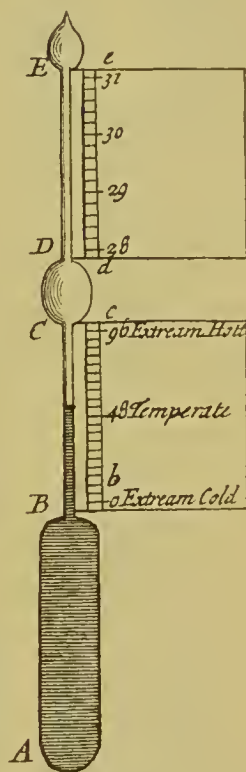


Fig. 230.

1) Fahrenheit, Philosophical Transactions. XXXIII. 1723/24. No. 382. S. 78.

2) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 217.

3) Fahrenheit, Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24. No. 385. S. 179.

thermometrische Flüssigkeit nicht nur die kleine Kugel *CD* erfüllen, sondern auch bis zu verschiedenen Punkten des Röhrehens *DE* steigen, dem Wärmegrade gemäß, welchen das Wasser zur Zeit infolge des Luftdruckes erlangen wird«.

3. Fahrenheit und das Aräometer.

Auch seine nun noch darzustellenden Arbeiten über das spezifische Gewicht lassen Fahrenheits Umsicht im besten Lichte erscheinen. Schon der Grund, warum er für die Flüssigkeiten, deren Siedepunkte er bestimmt, auch ihre Dichtigkeiten untersucht, zeugen davon. »Das spezifische Gewicht einer jeden Flüssigkeit«, sagt er ¹⁾, »glaubte ich notwendig hinzusetzen zu müssen, damit, wenn die Resultate anderer Beobachtungen, welche schon angestellt sind oder in Zukunft angestellt werden, von den meinigen abweichen, man erkennen kann, ob dieser Unterschied in der Verschiedenheit des spezifischen Gewichtes oder in anderen Ursachen begründet sei. Die Untersuchungen sind außerdem nicht zu derselben Zeit angestellt, weshalb die Flüssigkeiten verschiedene Temperatur- und Wärmegrade hatten; weil nun dadurch das spezifische Gewicht verschiedenartige und ungleichmäßige Schwankungen erleidet, habe ich dasselbe durch Rechnung auf die Temperatur von 48 Graden zurückgeführt«.

Um Bestimmungen von solcher Schärfe zu erhalten, musste er freilich zunächst den dazu zu verwendenden Apparaten die nötige Genauigkeit geben. Man benutzte zu seiner Zeit das Volumenaräometer des Altertums

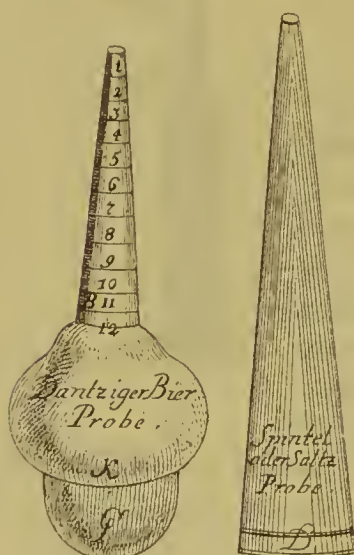


Fig. 231.

Fig. 232.

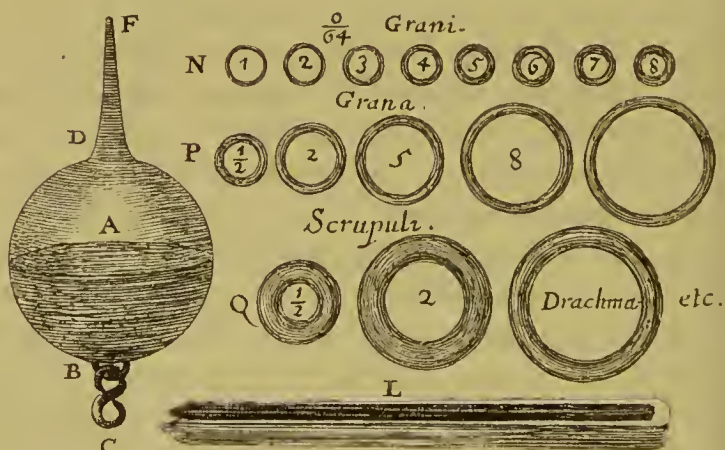


Fig. 233.

in höchst einfacher Form in der Technik als Bierprobe (Fig. 231), Salzprobe (Fig. 232) u. s. w. Aber auch das Gewichtsaräometer war in Gebrauch.

1) Fahrenheit, Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24. No. 383. S. 114.

Ihm begegnen wir zuerst in dem mehrerwähnten Reisewerke des Arztes Monconys¹⁾, der mit seiner Hilfe das spezifische Gewicht des Trinkwassers an vielen von den Orten, welche er besucht hat, bestimmte. Der Leser erinnert sich, dass zu dem gleichen Zwecke auch das Volumenaräometer konstruiert war und noch bis weit ins vorige Jahrhundert hinein, glaubte man durch solche Untersuchungen sich von der Güte des Trinkwassers versichern zu können. Später bildete Sturm²⁾ den von Monconys benutzten Apparat ab — eine Nachbildung der von ihm gegebenen Figur zeigt unsere Fig. 233 — und daraufhin glaubte Leupold³⁾ dem Lyoner Arzt die Erfindung des Gewichtsaräometers zuschreiben zu müssen. Hätte er das Werk von Monconys genau eingesehen, so wäre er schwerlich in diesen Irrtum verfallen, denn dieser nennt darin ausdrücklich de Roberval als Erfinder und giebt das Jahr 1664 als Zeitpunkt der Erfindung des Gewichtsaräometers an.

In seiner abgebildeten ältesten Form bestand es aus einer oben in eine Spitze *F* auslaufenden Glaskugel *A*, welche unten eine Öse *B* zum Anhängen des kleinen Gewichtes *C* trug. Sollte mit ihm das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit bestimmt werden, so legte man mit der Zange *L* soviel von den ringförmigen Gewichten *N, P, Q* um den Hals *FD* der Kugel, dass sie gerade bis *F* eintauchte. Diesem Instrumente warf Fahrenheit vor, dass man für verschiedene Flüssigkeiten auch verschiedene Aräometer brauchen müsse. Schwerer wiegt der Fehler, dass die aufgelegten Gewichte das Volumen des eingetauchten Instrumentes ändern. Gerügt hat ihn Fahrenheit nicht, wohl aber in dem Instrumente, was er herstellte, verbessert, wie die es darstellende Fig. 234 beweist. Es ist die Form des Apparates, unter der er noch heute in Verwendung steht.

»Es wird«, so beschreibt Fahrenheit seine Anwendungsweise⁴⁾, »die kleine Kugel mit soviel Quecksilber gefüllt, dass, wenn man das Aräometer in einer sehr leichten Flüssigkeit, z. B. in gut gereinigtem Weinspiritus oder Terpentinspiritus stellt, dasselbe in der Flüssigkeit fast bis zum



Fig. 234.

1) Monconys, Journal de voyages. 2. Partie. Lyon 1666. S. 27.

2) Sturmius, Collegium experimentale sive curiosum. Pars II. Norimbergae 1685. S. 61.

3) Leupold, Theatrum staticum universalis. Pars II. Leipzig 1726. S. 201.

4) Fahrenheit, Philosophical Transactions. T. XXXIII. 1723/24. No. 384. S. 140.

Punkte *a* sinkt. Hierauf wird die Röhre bei *E* hermetisch versiegelt und das Instrument mit Hilfe einer genauen Wage abgewogen; es wird dann das Gewicht des Instrumentes genau das Gewicht der von demselben

verdrängten Flüssigkeit sein, wie dies dem der Hydrostatik kundigen hinreichend bekannt ist. Wenn aber schwerere Flüssigkeiten untersucht werden sollen, wie z. B. Wasser, Laugen, Säuren, so wird der Unterschied ihrer Schwere gefunden, wenn man das Instrument in dem Schälchen mit einem solchen Gewichte beschwert, dass es wiederum bis zum Punkte *a* sich senkt. Wenn man das Gewicht zu dem des Instrumentes addiert, so wird man die spezifischen Gewichte jener Flüssigkeiten, wenn die Gewichte sehr klein sind, genau erhalten und so bei den übrigen.*

Neben dem Gewichtsariometer waren aber auch die Volumenariometer und Pyknometer zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes häufig im Gebrauch. Das

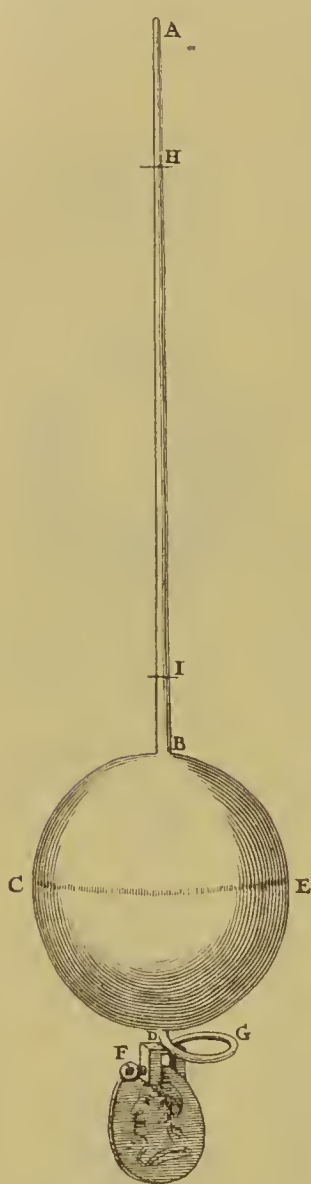


Fig. 235.



Fig. 236.



Fig. 237.

in Fig. 235 dargestellte Instrument benutzte Boyle¹⁾ zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Münzen, das in Fig. 236 erfüllte denselben Zweck bei Flüssigkeiten. Der Apparat, den Cor-

nelis Meyer²⁾ angab, gleicht dem Nieholsonschen Gewichtsariometer dadurch, dass er unten ein Schälchen trug. Er ist indessen nichts anderes als eine Abänderung des Boyleschen Apparates (Fig. 235), das Schälchen sollte nur zur Aufnahme von Münzen dienen.

1) Boyle, Philosophical Transactions 1675. No. 24. S. 447 (abridged Vol. I. S. 516)

2) Nuovi ritrovamenti divisi in due parti Rom 1696. Vgl. Leupold, Theatrum universale. Pars II.

Das Pyknometer, welches Fig. 237 zur Anschauung bringt, hat 1699 Homberg angegeben¹⁾; es erlaubte genauere Bestimmungen zu machen, wie der Apparat Al Khâzinîs (Fig. 71). Es besteht aus einem Fläschchen mit weitem Halse und seitlichem kapillaren Rohre. Die Flüssigkeit wird soweit eingefüllt, dass sie gerade bis zur Spitze des Kapillarröhrehens reicht. Fahrenheit²⁾ hat zwei Pyknometer 1724 beschrieben, sie aber wohl früher

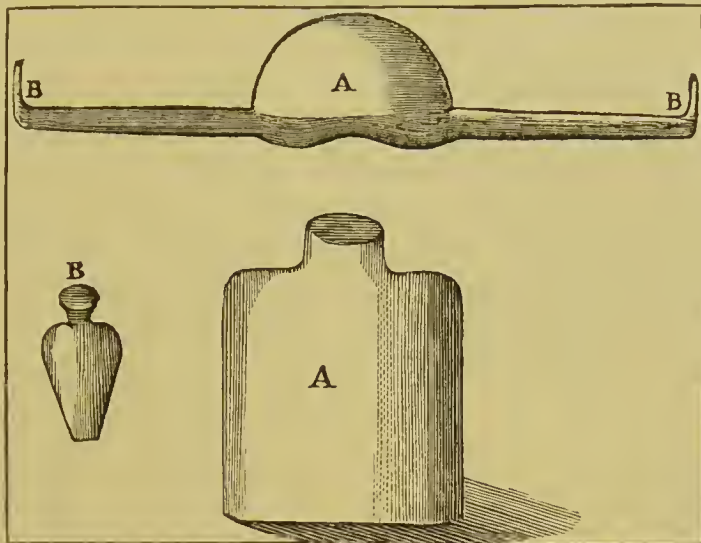


Fig. 238.

konstruiert. Die Fig. 238 zeigt ihre Einrichtung. Das eine besteht aus einer abgeplatteten Glaskugel mit zwei seitlichen kapillaren Röhrehen, welche bequem auf die Wagehale gelegt werden konnte, das andere aus einem Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel, welches mit Flüssigkeit gefüllt werden konnte. Durch die Verbindung des Homberg'schen mit dem zweiten Fahrenheit'schen Instrument hat Geißler in neuerer Zeit bekanntlich seine genauen Pyknometer erhalten.

Die übrigen Forschungen um die Wende des 17. Jahrhunderts.

1. Hooke und das zusammengesetzte Mikroskop.

Wenn wir an den Anfang dieses Abschnittes den langjährigen Experimentator der Royal Society Robert Hooke (1635—1703) stellen, so berechtigen uns dazu eine Anzahl wichtiger experimenteller Arbeiten, die er ausführte. Ihn in höherem Grade aus der Zahl der gleichzeitigen Forscher herauszuheben, würde dagegen seiner Bedeutung nicht entsprechen. Wenn ihm freilich alle Erfindungen und Arbeiten, die man ihm und er wohl auch

¹⁾ Homberg, Mémoires de l'Académie Royale. 1699. S. 44.

²⁾ Fahrenheit, Philosophical Transactions. T. XXXIII. No. 384. S. 140.

sich selbst zugeschrieben hat, gehörten, würden wir ihm allerdings eine andere Stelle anweisen müssen. Aber wir wissen jetzt, dass eine große Zahl derselben von ihm nicht herrühren. Sein bestimmtes Auftreten aber, die Sicherheit, mit der er sich die Ergebnisse der Untersuchungen anderer unbedenklich aneignete, verfehlten nicht auf seine Landsleute die Wirkung zu haben, dass sie ihn wirklich für das hielten, für was er sich ausgab. Andere freilich urteilten anders über ihn und es klingt nicht sehr anerkennend, wenn Huygens am 19. Februar 1665 an seinen Vater über ihn schreibt¹⁾: »Er versteht nichts von Geometrie, und macht sich lächerlich durch seine Eitelkeit. Ich verstehe sehr wohl seine Maschine, die ein übles Zeugnis für seine Kenntniss der Meehanik abgibt.« Wenn sich Huygens Moray gegenüber auch vorsichtiger ausdrückt²⁾, so tadelt er auch gegen ihn die Kühnheit, mit der jener seine Hypothesen bildet und begreift u. a. nicht³⁾, dass Hooke, während er Ideen über die Farben vorträgt, welche denen Boyles sehr ähnlich sind, diesen nicht einmal erwähnt.

Die Maschine, welche Huygens in dem Briefe an seinen Vater erwähnt, hatte den Zweck, die Geschwindigkeit fallender Körper zu messen.

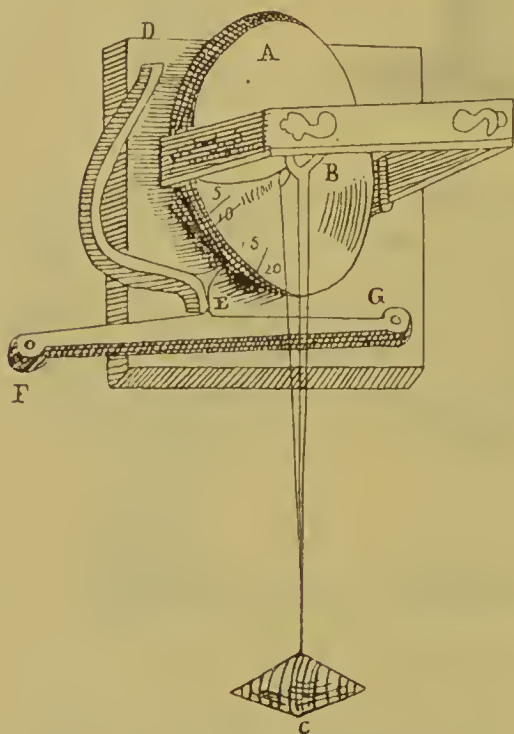


Fig. 239.

Hooke that damit sehr geheimnisvoll und es dauerte lange, bis er sich endlich dazu verstand, Moray am 4. November 1664 seinen Plan mitzuteilen, den dieser sich beeilte am 11. November seinem Korrespondenten im Haag zu übermitteln⁴⁾. Die diesem Briefe beigegebene Figur ist in Fig. 239 reproduziert. A ist ein hölzernes Rad, an dessen Achse das Pendel BC befestigt ist, welches Sekunden zählt, DE eine in D befestigte Feder, deren Ende E die Bewegung des Rades und des Pendels hemmen kann, wenn sie gegen den Kranz des Rades schlägt, FG ein Stück Holz, welches sich um einen Zapfen bei G dreht und bei F eine Öffnung hat, um hier eine den Versuchskörper tragende Sehmur einzulegen. Der Stab FG trägt bei

E einen Haken, der dazu dient, die Feder von A wegzudrücken. Um die Fallgeschwindigkeit einer Bleikugel zu untersuchen, wird sie an der

1) Huygens, Oeuvres complètes. V. S. 240.

2) Huygens, a. a. O. V. S. 282.

3) Huygens, a. a. O. V. S. 320.

4) Huygens, a. a. O. V. S. 141.

Schnur, diese an F befestigt und aus einer bestimmten Höhe fallen gelassen, während zugleich das aus seiner Ruhelage gehobene Pendel losgelassen wird. Ist die Kugel so weit gekommen, dass sie die Schnur anzieht, so reißt sie E von der Feder ab, diese schnellst gegen das Rad und arretiert es. Eine auf seinem Umfang angebrachte Teilung soll dann die Sekunden ablesen lassen.

Als Huygens zuerst von dem Plane Hookes, eine Fallmaschine zu bauen, hörte, regte ihn dies an, selbst eine solche zu entwerfen, die er am 29. August 1664, also ehe ihm der Hookesche bekannt wurde, Moray mitteilte. Er war nun sehr gespannt auf die Maschine Hookes; als er sie aber erhielt, sehr erstaunt, dass an ihr die Teilung auf dem Rade A vorhanden war, von der er geglaubt hatte, sie allein zu besitzen. Er fragt deshalb bei Moray an, wie sie Hooke erhalten habe. »Die Maschine«, sagt er¹⁾, »ist nicht vollständig, wenn man sie [die Teilung] nicht genau besitzt und es ist zu bemerken, dass man, um sie zu erhalten, ein bestimmtes Verhältnis der Zunahme der Geschwindigkeit voraussetzen muss, welches mit dieser Maschine zu erhalten und zu prüfen ist, das ist bei meiner Maschine anders«.

Die Zeichnung seiner Maschine, die er unter dem Datum des 29. August Moray übersandte, giebt in genauer Nachbildung Fig. 240. Er beschreibt sie folgendermaßen²⁾: » $ABCDEFGS$ ist ein Brett, aus welchem der Teil $DEFG$ herausgeschnitten ist, das Pendel ist HK , welches ich sehr klein, etwa einen Zoll lang nehmen werde, damit es $\frac{1}{6}$ Sekunde angieht. Das Gewicht dieses Pendels H ist von einem Stift oder einer Nadel durchbohrt. ML ist ein Papier- oder Pergamentstreifen, dessen Länge 3 oder 4 Fuß betragen muss und an welches unten der Faden MG befestigt ist, welcher frei durch das Bleigewicht O hindurchgeht und unten ein kleines Bleigewicht P trägt. Man lässt zu derselben Zeit das Gewicht O und das des Pendels H los, indem man einen an beide befestigten Faden durchschneidet, und wenn das Blei bis nach B fällt, welches man so tief setzen kann, als man will, zieht es den Papierstreifen ML mit herab. Dieser wird vorbeigehend von der einen oder anderen Seite einen Strich von der H durchbohrenden Nadel erhalten, welche man zu diesem Zwecke schwärzen muss. Man wird als genau erfahren, durch welchen Weg das Gewicht O in einer gewissen Zeit herabgefallen ist, da dieses durch die Zahl der

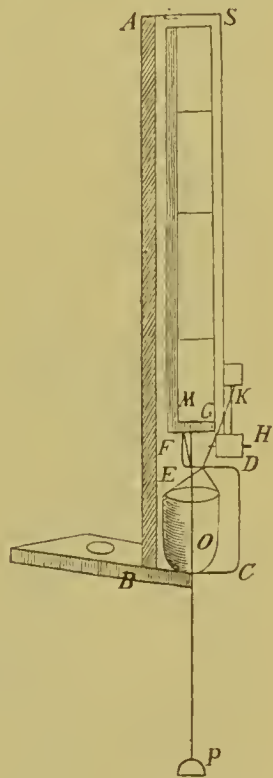


Fig. 240.

1) Huygens, a. a. O. V. S. 150.

2) Huygens, a. a. O. V. S. 108.

Schwingungen des Pendels NK angegeben wird«. Übrigens unterlässt Huygens nicht, hinzuzusetzen, dass er auch noch einen anderen Entwurf zur Bestimmung der Fallräume ausgedacht habe, der aber noch nicht durchgearbeitet sei. Es sei hier gleich erwähnt, dass 1719 Desaguiliers¹⁾ den Versuch machte, aus den beobachteten verschiedenen Fallzeiten zweier Körper im luftgefüllten Raum den Widerstand der Luft, den fallende Körper zu überwinden haben, zu bestimmen. Er ließ deshalb zwei verschieden große Kugeln von Blei und Holz von der Kuppel der Paulskirche herabfallen. Um sie gleichzeitig loszulassen, hatte er sie an dem nämlichen Seil befestigt, welches durchschnitten wurde.

Sollte Hookes Fallmaschine die Fallgesetze Galileis auf experimentellem Wege prüfen, so bezweckten die in Fig. 241 abgebildeten Apparate die Prüfung des Boyle'schen Gesetzes. Der Apparat links ist bestimmt seine Gültigkeit für Drucke die kleiner, der rechts für solche, die größer sind wie der Atmosphärendruck, zu erweisen; bis in die neueste Zeit werden sie in physikalischen Vorlesungen zu demselben Zwecke verwendet. In jenem wurde das oben geschlossene Rohr AB mit Quecksilber gefüllt, mittels des aufgedrückten Fingers das offene Ende nach unten in das weitere Glasrohr DE , an dessen oberen Rand die Holzbüchse C gekittet war, unter das in die Büchse und das Rohr gegossene Quecksilber gebracht und der Finger weggenommen. Nachdem es genügend weit herabgesenkt war, wurde es bei A wieder geöffnet und etwas Luft hereingelassen, darauf wieder geschlossen und die Volumina AF , AG , AH u. s. w. bestimmt, die beim Heben des Rohres AB die eingeschlossene Luft einnahm. In dem Apparate rechts dagegen sperrte Hooke in dem kurzen oben geschlossenen Schenkel Luft ab, füllte in den oben offenen Schenkel AD immer mehr Quecksilber zu und beobachtete die Volumina, welche nun die immer mehr zusammengepresste Luft einnahm.

Diese Versuche teilt Hooke in seinem Hauptwerke mit, mit dessen sonstigem Inhalt sie nichts zu thun haben. Ist doch dieses, welches den Titel *Micronographia*²⁾ trägt, der Mitteilung der vielen mikroskopischen Versuche, die der langjährige Sekretär der Royal Society anstellte, gewidmet und ausgestattet mit einer Reihe sehr schöner Kupfer. Sie geben Hookes mikroskopische Präparate wieder und ließen Huygens über die Mechanik und Geometrie, welcher man in allen Werken der Natur begegne, freudig erstaunen. Das Mikroskop, dessen sich Hooke bediente, war ein zusammengesetztes. Es ist in Fig. 242 im Durchschnitt abgebildet. Die Art seiner Aufstellung und den Beleuchtungsapparat zeigt Fig. 243. Da die von ihm untersuchten Gegenstände sämtlich undurchsichtige waren, so beobachtete er im auffallenden Lichte. Als Lichtquelle diente eine nach unseren Begriffen höchst primitive Öllampe K , deren Strahlen eine mit

1) Desaguiliers, Philosophical Transactions. 1719. No. 362. S. 1071.

2) London. MDCLXVII.

Salzwasser gefüllte »Schusterkugel« *G* in Verbindung mit der Sammellinse *I* konzentrierte. Mikroskop und Beleuchtung ließen starke Vergrößerungen nicht zu und so werden wir denn den größten Mikroskopiker seiner Zeit, der gleichzeitig mit Hooke arbeitete, andere Apparate benutzen sehen.

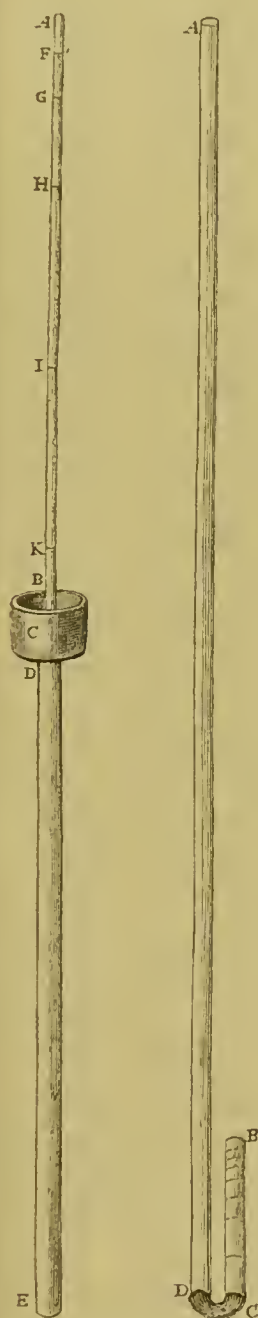


Fig. 241.

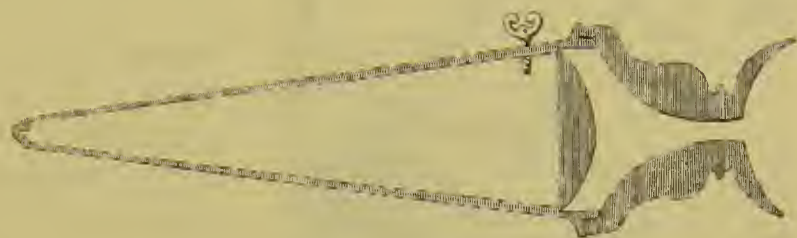


Fig. 242.

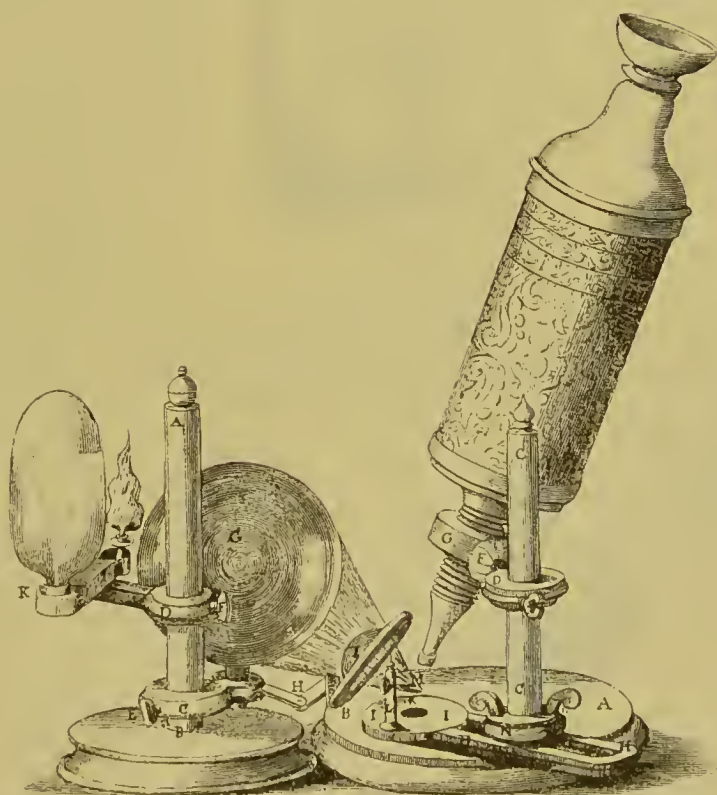


Fig. 243.

Die Herstellung guter Linsen war für die Brauchbarkeit des Mikroskops Lebensfrage. Den Apparat, mit dem sie erhalten werden können, giebt

nach der Vorrede der Mikrographie Fig. 244. Aus der von ihm gegebenen Beschreibung¹⁾ geht freilich nicht mit Sicherheit hervor, dass Hooke selbst ihn benutzt hat. Vielleicht stimmt er mit dem Campanischen überein. Zwei

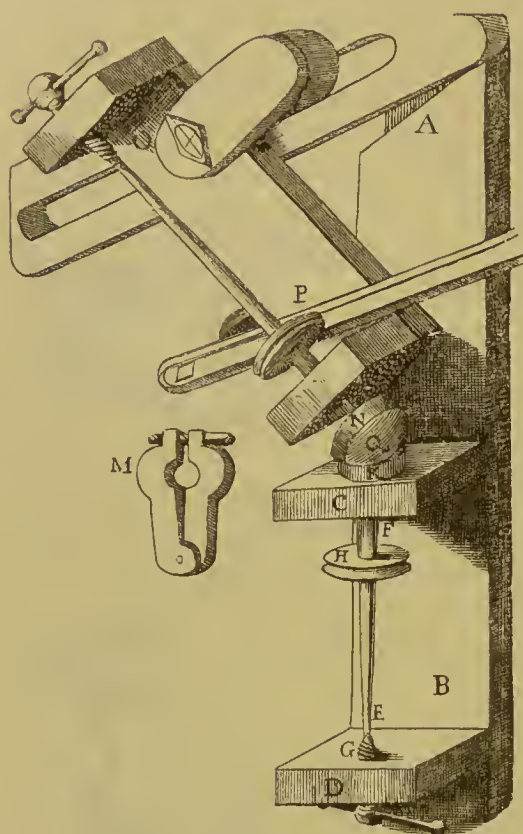


Fig. 244.

Bretter AB und OP , von denen das letztere geneigt zum ersteren aufgestellt werden kann, tragen mittels starker an ihnen befestigter Lagerplatten zwei Achsen OP und FG , die durch die Schnurläufe P und H in rasche Drehung versetzt werden können, zu deren Erleichterung sie mit ihren voneinander abgewandten Enden auf Spitzen laufen. Mittels der in der Nebenfigur gezeichneten Schraubzwinge M können beide eine passende Neigung zu einander erhalten. Die untere Achse trägt die Form K , die obere die Unterlage N , auf welche das abzuschleifende Glasstück Q mit Zement oder Leim befestigt wird. Die Form, deren Gestalt von der Brennweite der Linse abhängt, enthält Sand zum Abschleifen.

Um stärker brechende Linsen zu erhalten, dachte Hooke auch daran²⁾, solche aus Flüssigkeiten

herzustellen. Er hoffte dann mit geringeren Krümmungen die notwendige Brechung zu erzielen. Mittels einer Schraube wollte er auf eine Uhrglas

ähnliche Schale eine planparallele Platte pressen, nachdem er den Hohlraum zwischen beiden mit Wasser, Terpentinöl, Alkohol oder Salzlösung gefüllt hatte.

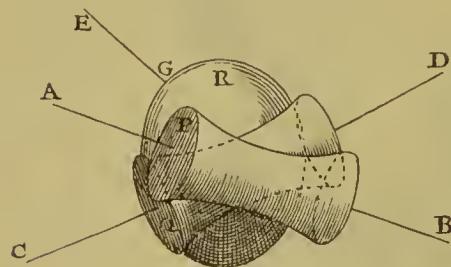


Fig. 245.

Suchte Hooke auf solche Weise weniger verzerrte Bilder zu erlangen, so schlugen andere vor, durch zweckmäßigere Krümmung der Linsen das nämliche zu erreichen. So wollte Hevel³⁾ (1611—1657)

Gläser von konischem Querschnitte in einer kugelförmigen Schüssel schleifen, und der berühmte Erbauer der

1) Hooke, *Micrographia*. 18. Seite des Preface.

2) Hooke, *Philosophical Transactions*. T. I. 1665/66. No. 12. S. 202.

3) Hevel, *Philosophical Transactions*. 1665/66. No. 6. S. 98.

Paulskirche Christopher Wren¹⁾ (1632—1723) schlug vor, hyperbolische Gläser nach der durch Fig. 245 angegebenen Idee zu schleifen. »Es seien«, erläutert er dieselbe, » P, Q, R drei Körper, welche aneinander gleiten können, von denen P und Q gleich und von Säulenform sind, R aber die Form eines linsenförmigen Körpers besitzt. P soll um eine Axe AB , Q um CD und R um EG rotieren«. Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass nach dieser Idee nie Linsen geschliffen worden sind.

2. Die Royal Society und die Wetter- und Meerestiefen-Beobachtungen.

Im Auftrage der Royal Society, die beschlossen hatte, an den verschiedensten Orten gleichzeitige Beobachtungen der meteorologischen Elemente, der Lufttemperatur, des Luftdruckes, der Luftfeuchtigkeit, der Windrichtung und Windstärke und der Regenmenge anstellen zu lassen, konstruierte Hooke ein Thermometer, ein Barometer und ein Hygrometer; doch sind seine Konstruktionen durchaus nicht originell. Auf den falschen Weg, den er bei Herstellung des Thermometers dadurch einschlug, dass er übermäßig große Abmessungen nahm, haben wir bereits bei den Arbeiten von Huygens über denselben Gegenstand hingewiesen, auch darauf aufmerksam gemacht, dass sein Radbarometer²⁾ nichts anderes ist, als Guericques Apparat zur Beobachtung des Luftdruckes für Quecksilber abgeändert. Da es aber von der Royal Society zu ausgedehnter Verwendung kam, auch noch bis in unsere Tage zu Ablesungen des Luftdruckes benutzt wird, so haben wir es in Fig. 246 abzubilden für nötig befunden. Der Leser erinnert sich, dass auf dem kurzen Schenkel des Barometerrohres sich ein Schwimmer,

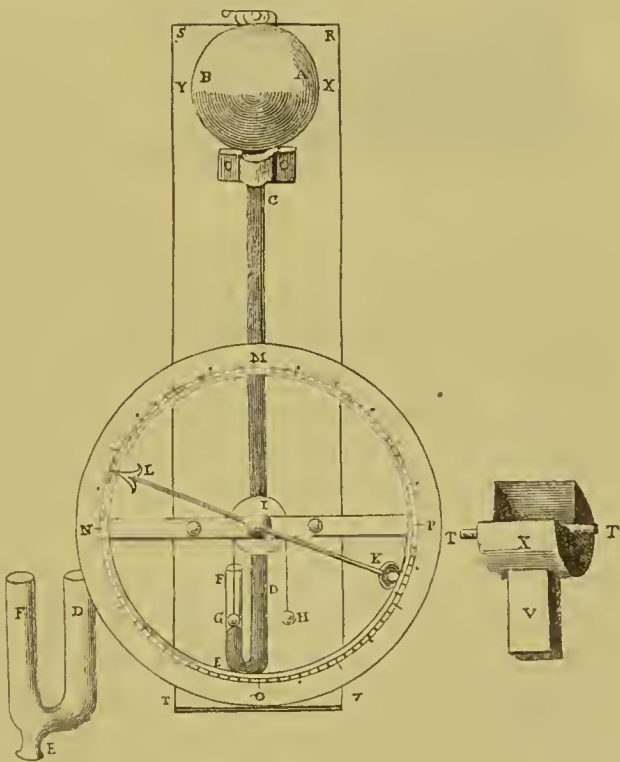


Fig. 246

1) Wren, Philosophical Transactions. 1668. No. 53. S. 1059.

2) Hooke, Micrographia. Preface. 10. Seite.

hier eine Stahlkugel *G*, befindet, welcher, an einer Schnur hängend, durch eine ebensolche, *H*, im Gleichgewicht gehalten wird. Auf der Achse der die Schnur tragenden Rolle *I* sitzt der Zeiger *LK*, der vor der Teilung spielt. Der untere, in vergrößertem Maßstabe links neben der Hauptfigur gezeichnete Teil des Barometerrohres wurde an den oberen gekittet, zum Füllen des Barometers die untere Öffnung *E* mit Wachs verschlossen, etwa mitgerissene Luftblasen durch mehrmaliges Umkehren und Wiederaufrichten entfernt, endlich *E* zugekittet und *F* geöffnet. Die Figur rechts zeigt die Art, wie die Achse gelagert worden war. Das Barometerrohr endigte in die Kugel *AB*, in der die Schwankungen des Quecksilberspiegels kaum sichtbar wurden.

Am originellsten von diesen meteorologischen Instrumenten war das

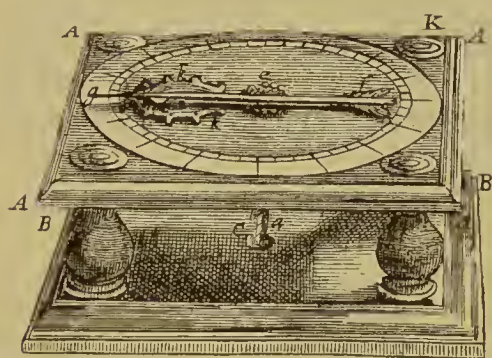


Fig. 247.

Hygrometer, das Hooke¹⁾ für die Royal Society konstruierte. Es ist in Fig. 247 dargestellt. Als hygroskopischer Körper diente eine Granne vom wilden Hafer, deren Bewegung auf die Achse *cc* übertragen wurde. Durch Zahnräder wurde von ihr aus der über einer Teilung spielende Zeiger *gf* bewegt. Das Ganze ruhte auf vier Säulen oder wurde von durchlöcherten Wänden getragen, so dass der Luft freier Zutritt gestattet war.

Das Interesse für die Anstellung meteorologischer Beobachtungen war damals ein allgemeines, und da es an brauchbaren Feuchtigkeitsmessern noch fehlte, so richtete sich die Thätigkeit der Forscher darauf, solche herzustellen. So haben wir denn noch von einer großen Zahl von solchen Instrumenten zu berichten, von einem, das quantitativ brauchbare Resultate giebt, allerdings nicht. Da aber die meisten dieser Instrumente viel gebraucht wurden, ja noch werden, so verlohnt es sich der Mühe, die einzelnen kennen zu lernen. Gould²⁾ gedachte den Feuchtigkeitsgehalt der Luft in der Weise zu bestimmen, wie es einst Nicolaus de Cusa und L. B. Alberti gethan hatten, nämlich durch die Beobachtung der Gewichtszunahme einer hygroskopischen Substanz. Als solche wählte er Schwefelsäure, die er in einem passenden Gefäße an den einen Arm einer Wage hing, dessen anderer ein entsprechendes Gegengewicht trug und durch einen die Verlängerung des die Schwefelsäure tragenden Wagebalkens bildenden Zeiger deren Gewichtszunahme ablesen ließ. Es war keine Verbesserung, dass er später das Gefäß mit der Säure an einer Art von Flaschenzug be-

1) Hooke, Micrographia. Schem. XV. Fig. 4.

2) Gould, Philosophical Transactions. 1683/4. No. 156. S. 304. Acta Eruditorum. 1685. S. 317.

festigte¹⁾ oder dass Hales²⁾ (1677—1761) den hygroskopischen Körper — er nahm allerdings wie Alberti wieder einen Schwamm — an das eine Ende einer Schnur hing, welche um eine mit einem Schraubengewinde versehene kegelförmige Rolle gewickelt war und am anderen Ende ein Bleigewicht trug. Zunehmende Feuchtigkeit ließ den Schwamm sinken, abnehmende das Blei, aber es liegt auf der Hand, dass die Benutzung der Wage zu genaueren Ergebnissen führen musste.

Wie Amontons benutzten Cuning und Coniers die Eigenschaft des Holzes, beim Feuchtwerden zu quellen, zur Herstellung von Hygrometern. Des ersteren Apparat³⁾ zeigt Fig. 248. An den beiden, aus Eichenholz

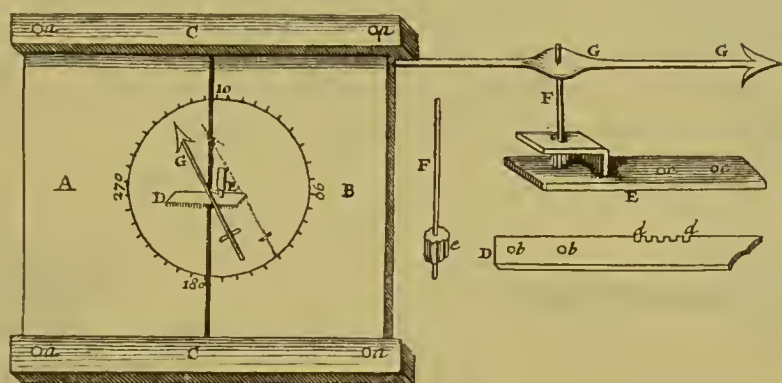


Fig. 248.

bestehenden Leisten *C* sind die beiden Tannenholzbretter *A* und *B* mittels der Schraube *a* auf der einen Seite so befestigt, dass sie sich nach der anderen frei ausdehnen können. Die Schrauben *bb* verbinden mit der einen eine Zahnstange *dd*, die Schrauben *cc* mit der anderen das Lager des Getriebes *e*, dessen Achse den über einer Kreisteilung spielenden Zeiger *G G* trägt. Eine Ausdehnung oder ein Schwinden des Holzes infolge zu- oder abnehmender Feuchtigkeit musste den Zeiger in dem einen oder anderen Sinne in Bewegung setzen. Coniers nahm anstatt der beiden Eichenholzleisten einen ganzen Rahmen und fügte den beiden Holzarten noch eine dritte hygroskopische Substanz hinzu, indem er an dem einen Brett einen Faden befestigte, welcher um eine im anderen gelagerte Rolle geschlungen war und durch ein Gewicht gespannt wurde. Die Rolle trug den Zeiger, welcher über einer Teilung spielte. In ähnlicher Weise suchten Hantefenille⁴⁾ (1647—1724) und Tenber⁵⁾ mit Hilfe zweier, an ihrem einen Ende befestigter Bretter den Feuchtigkeitsgehalt der Luft zu bestimmen.

1) Gould, Philosophical Transactions. 1683/4. No. 156. S. 305.

2) Desaguiliers, A course of Experimental Philosophy. Holl. Übers. II. S. 387.

3) Cuning, Philosophical Transactions. No. 127. S. 650.

4) Pendule perpetuelle. Paris 1678. Vgl. Gehler, Physik. Wörterb. V. S. 607.

5) Tenber, Acta Eruditorum. 1687. S. 76.

Molyneux¹⁾ (1656—1698) wurde der Schöpfer der Hygrometer, die um ihrer Einfachheit willen noch jetzt gern hergestellt werden. Er befestigte an einer gewöhnlichen Peitschenschnur eine Kugel und hing die erstere mit einem Ende an. Die Kugel trug einen über einer Teilung spielenden Zeiger, der, je nachdem durch Feucht- oder Trockenwerden die Schnur sich mehr zu- und aufdrehte, sich hin und her bewegte und so über den Zustand der Luftfeuchtigkeit ein Urteil gestattete. Dadurch, dass Desaguiliers²⁾ anstatt der Kugel einen Metallstab nahm, dessen beide Enden über der Skala schwebten, gab er das Vorbild für die bis heute gern benutzten Wetterhäuschen. Teuber beobachtete die Längenänderung des Hanfseiles, die mit der Drehung verbunden ist, und endlich schloss man auf die Luftfeuchtigkeit aus der Verlängerung oder Verkürzung einer Darmsaite. Hygrometer dieser Art waren seit 1676 in Dresden im Gebrauche.

Die Apparate zur Beobachtung des Windes und Regens, welche die Royal Society benutzen wollte, zeigen Figg. 249 und 250. Der erstere ließ

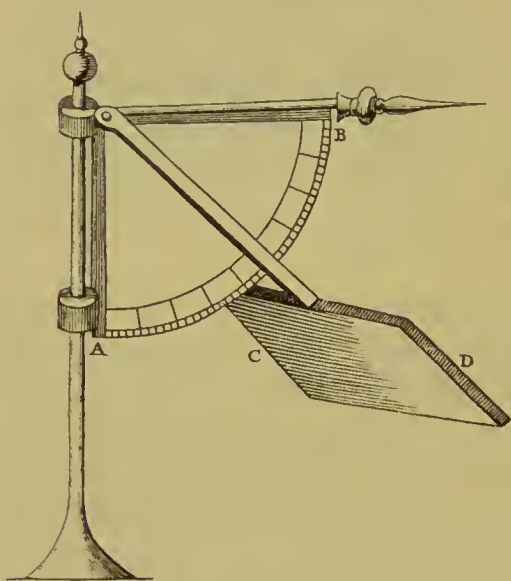


Fig. 249.

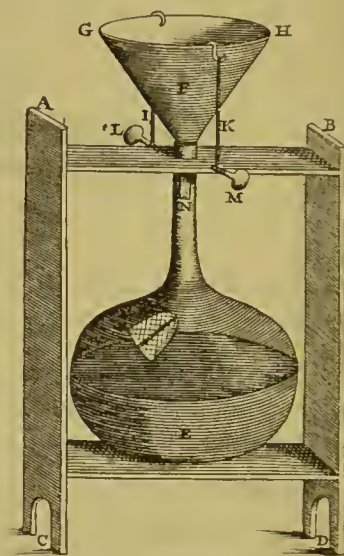


Fig. 250.

nicht nur durch die Stellung, die die Windfahne annahm, die Richtung, sondern auch durch den Winkel, bis zu welchem die Platte *CD* gehoben wurde und welcher am Gradbogen *AB* abgelesen werden konnte, die Stärke des Windes erkennen³⁾. Das Ombrometer, das seit 1695 im Gresham College verwendet wurde⁴⁾, bestand aus dem zwei Gallonen fassenden Trichter *F* und der Flasche *E*, der er aufgesetzt war. Die an den Stangen *I* und *K*

1) Molyneux, Philosophical Transactions. 1685. No. 172. S. 1032. Acta Eruditorum. 1686. S. 388.

2) Desaguiliers, A course of Experimental Philosophy. Holländ. Übers. S. 385.

3) Philosophical Transactions. 1667. Vol. I. No. 24. S. 438.

4) Philosophical Transactions. 1695/96. No. 223. S. 357.

hängenden Gewichte *L* und *M* hatten den Zweck, den Trichter gegen den Wind aufrecht zu halten.

Die damals schon in hoher Blüte stehende Schifffahrt der Engländer ermöglichte der gelehrten Gesellschaft die Aufgaben, die sie durch korrespondierende meteorologische Beobachtungen sich gestellt hatte, zu erweitern. Nicht nur dass solche den Schiffskapitänen aufgegeben wurden, es wurde ihnen auch zur Pflicht gemacht, die Deklination und Inklination der Magnetenadel, sowie die Tiefen der Océane zu bestimmen, ja aus solchen Tiefen Wasserproben heraufzuholen und zur Untersuchung einzuliefern¹⁾. Das ihnen mitgegebene Bathometer sehen wir in Fig. 251. Es bestand aus der Holzkugel *A*, an welcher die Bleikugel *D* oder statt ihrer ein Stein so angebracht war, dass beim Aufstoßen auf den Meeresgrund *D* sich löste und *A* wieder emporstieg. Die Zeit, die von ihrem Verschwinden bis zu ihrem Wiedererscheinen verfloss, wurde der Bestimmung der Tiefe zu Grunde gelegt. Um *D* sicher auszulösen, war an *A* der Bügel *B* befestigt, in den mittels des federnden, gegen *A* gelegten Drahtes *C* der *D* tragende Bügel *E* eingehängt wurde. Die anstoßende Kugel *D* ließ *C* von *A* abgleiten und machte so *A* frei.

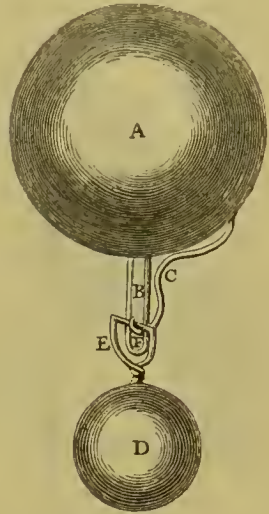


Fig. 251.

Zum Zwecke der Tiefenmessung schlug 1728 Hales²⁾ ein Manometer vor, eine mit Luft zum Teil gefüllte, durch Quecksilber abgesperrte Röhre, die in einem dem Wasser zugänglichen Gefäße in das Meer versenkt wurde und so lange sich nach unten bewegte, bis ein Gewicht beim Aufstoßen auf den Grund sich ablöste. Das Gefäß mit dem Manometer stieg dann wieder empor und etwas Sirup oder Houig, welches auf das Quecksilber ins innere Rohr gebracht war, zeigte den höchsten Stand an, den es erreicht hatte. Da aber die Temperaturänderung der Luft unberücksichtigt blieb, so konnte der Apparat genaue Ergebnisse nicht liefern.

Die Art, wie aus der Tiefe eine Wasserprobe entnommen werden sollte³⁾, lässt Fig. 252, S. 266, erkennen. Der Bügel *B* wird bei *F* an einem Tan befestigt und trägt bei *A* ein Gewicht. Der mit dem Bügel beweglich verbundene Kasten hat beim Versenken die Stellung *C* gegen den Bügel, beim Emporsteigen die Lage *G*. Er hat oben und unten je einen Deckel *E*, von denen jeder mit einem drehbaren Tragarme des Kastens *B* verbunden ist. Bewegt sich der Bügel mit dem Kasten nach unten, so drängt den

1) Philosophical Transactions. 1667. Vol. I. No. 24. S. 438.

2) Hales, Philosophical Transactions. 1727/28. Vol. 35. No. 405. S. 559.

3) Philosophical Transactions. 1667. Vol. I. No. 24. S. 438.

letzteren der Widerstand des Wassers in die Stellung *C*, wird er wieder emporgezogen, so drängt ihn das Wasser in die Stellung *G* und schließt dabei die Deckel. Die Länge des abgewickelten Taues *F* giebt die Tiefe an, aus der die Wasserprobe stammt.

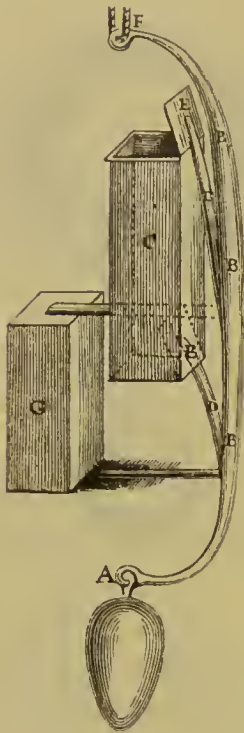


Fig. 252.

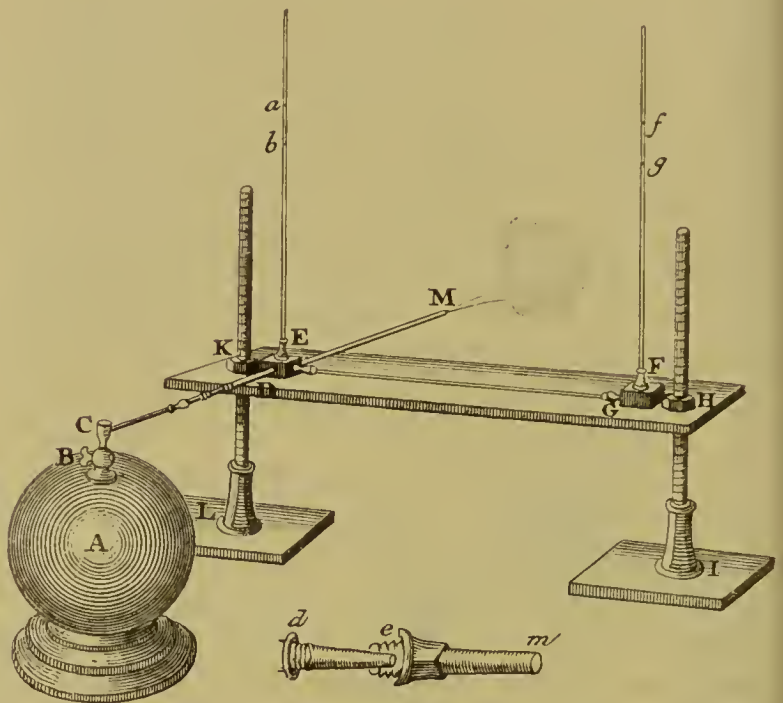


Fig. 253.

Das reiche, so einlaufende Material regte zu mannigfachen Arbeiten im Schoße der Royal Society an. Für uns ist davon der Versuch Hawksbees¹⁾ (gest. um 1713) von Interesse, mit dessen Hilfe er zu erklären versuchte, warum das Barometer vor und während eines Sturmes stark fällt. Den zu diesem Zwecke konstruierten Apparat führt uns Fig. 253 vor. In der kupfernen Kugel *A* wurde Luft zusammengepresst, dann der Hahn *B* geöffnet. Die Luft entwich nun durch *M*, nachdem sie über das Quecksilber im abgeschlossenen Gefäße des Barometers gegangen war, welches durch das Rohr *DG* mit dem ebenfalls abgeschlossenen Barometergefäße *F* in Verbindung stand. Das Quecksilber in den Rohren beider Barometer fiel dann um die gleichen Stücke *ab* und *fg*, und Hawksbee glaubte aus dieser Beobachtung schließen zu müssen, dass die horizontale Bewegung der Luft den senkrechten Druck vermindern könne. Dass dieser Schluss jedoch unberechtigt sei, wies Desagniliers²⁾ zwar nach, gab aber eine ebenso haltlose Erklärung der Erscheinung.

1) Hawksbee, Philosophical Transactions. 1704. Desaguiliers, a. a. O. II. S. 344 Anmerkung.

2) Desaguiliers, a. a. O. II. S. 344 Anmerkung.

3. Mariotte, Bernoulli und Sturm. Gewicht der Luft und magnetische Beobachtungen.

Mariotte (gest. 1684) ist auf den verschiedensten Gebieten der Physik schaffend thätig gewesen. Das Gesetz zwar, was seinen Namen am meisten berühmt gemacht hat, hatte bereits vor ihm Boyle gefunden, in weiteren Kreisen bekannt wurde es erst durch Mariottes Arbeiten. Weder dieses, noch seine experimentelle Bestimmung des Gesetzes, welches die Höhe des Strahles eines Springbrunnens regelt, giebt uns hier zu weiteren Erörterungen Veranlassung. Auch über seine Arbeiten über die Natur der Farben können wir hinweggehen. Uns beschäftigt hier nur sein Niveau und seine Beobachtungen am Ange.

Sein Niveau bestand, wie Fig. 254 zeigt¹⁾, aus einer Rinne $ABCD$ von 4 bis 5 Zoll Breite, welche auf zwei Seiten mit 2 bis 3 Zoll hohen

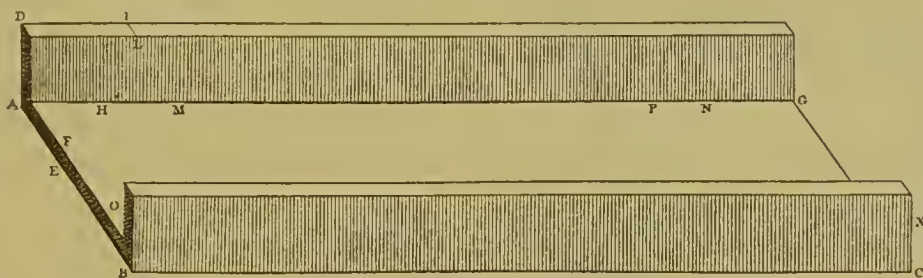


Fig. 254.

Rändern versehen war. Ihr Inneres FG war in der Richtung ihrer Breite von H bis M und N bis P mit Wachs so bestrichen, dass, wie Fig. 255

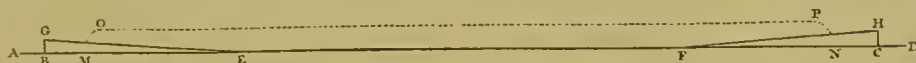


Fig. 255.

zeigt, der Überzug eine den Rücken nach außen kehrende Keilform besitzt. Zwischen beide Wachsschichten gegossenes Wasser wird demnach die Form OP (Fig. 255) annehmen, und es lässt sich leicht, wenn die Rinne nicht entsprechend horizontal liegt, ihr durch untergeschobene Keile eine solche Lage geben, dass die Punkte O und P gleich hoch über die Wachskeile GE und FH hervorragen.

Um nun mit Hilfe dieses Niveaus zwei Punkte, zu finden, welche in einer Entfernung von etwa 200 Fuß voneinander in derselben Horizontale liegen, stellt man das Instrument etwa in der Mitte der Verbindungslinie beider auf, schneidet ein etwa 12 Zoll langes rechteckiges Stück Papier oder Karton $ABCD$, Fig. 256, aus und zieht in dessen Mitte in einem Abstände von 2 bis 3 Zoll

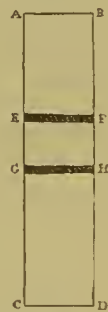


Fig. 256.

¹⁾ Mariotte, Oeuvres Leyde 1717. Vol. II. Traité du Nivellement. S. 538.

zu können geglaubt, indem er nur anstatt des Schlauches eine Ochsenblase nahm. Er beobachtete nach deren Aufblasen eine Gewichtsvermehrung, die aber wohl einer eingetretenen Verdichtung der Luft zuzuschreiben war ¹⁾. Dass auf solche Weise das Gewicht der Luft nicht erhalten werden konnte, hatte Boyle bereits eingesehen. Aber auch dessen Versuche fand Bernoulli unzureichend, da einmal immer noch etwas Luft in den Rängen zurückbleibe und da sodann das Gewicht der Luft gegen das des Glases viel zu klein sei, als dass man ein genaues Resultat erwarten könnte. Er hielt ²⁾ deshalb die Anwendung eines viel größeren Gefäßes für geboten. Seinen Apparat zeigt Fig. 258. *A* ist ein Rezipient von ausreichender Größe, welcher oben mit einem Hahne *B* versehen ist und mittels dreier seidener Fäden, die an den Ansätzen *aa* befestigt werden, an den Arm einer empfindlichen Wage *H* gehängt werden kann. Er ist mit dem eisernen Ringe *D* und den ebenfalls eisernen Bändern *EE* umgeben, welche unten umgebogen sind, um in den so erhaltenen Ring die Schale *F* zu hängen. Sie wird mit so viel Gewichten beschwert, dass, wenn *A* an die Wage gehängt und das Fass *G* mit Wasser gefüllt wird, einige wenige auf die Schale *H* gelegte Gewichtsstücke genügen, um das Gleichgewicht herzustellen. *A* kann nun an den Hahn *C* gehoben und durch ihn und das Rohr *K* mit der Luftpumpe *I* in Verbindung gesetzt werden. Nachdem alsdann der Rezipient soviel wie möglich angesaugt worden ist, wird *B* geschlossen, *A* von *C* abgenommen und wieder in das Wasser herabgelassen. Die zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes von der Wagschale *H* abzunehmenden Gewichte geben dann das Gewicht der ausgesaugten Luft. Um nun auch den Raum zu bestimmen, den sie einnahm, tauchte Bernoulli den Rezipienten, den Hahn nach unten, in Wasser und ließ durch Öffnen des Hahnes so viel davon eintreten, dass es innen und außen gleich hoch stand, schloß darauf

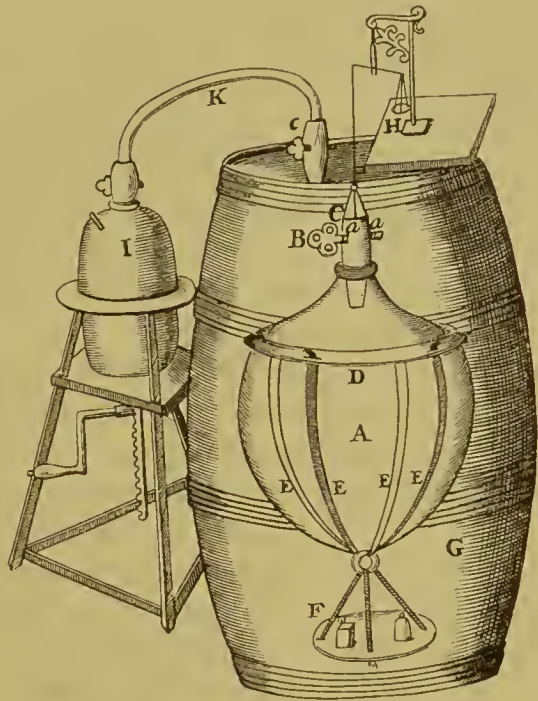


Fig. 258.

Verbindung gesetzt werden. Nachdem alsdann der Rezipient soviel wie möglich angesaugt worden ist, wird *B* geschlossen, *A* von *C* abgenommen und wieder in das Wasser herabgelassen. Die zur Wiederherstellung des Gleichgewichtes von der Wagschale *H* abzunehmenden Gewichte geben dann das Gewicht der ausgesaugten Luft. Um nun auch den Raum zu bestimmen, den sie einnahm, tauchte Bernoulli den Rezipienten, den Hahn nach unten, in Wasser und ließ durch Öffnen des Hahnes so viel davon eintreten, dass es innen und außen gleich hoch stand, schloß darauf

1) Vgl. Gehler, Physik. Lexikon. Neu bearb. Bd. VI. S. 1199. Auch Fischer, Geschichte der Physik. Bd. I. S. 423 und Poggendorff, Geschichte der Physik. S. 294.

2) Bernoulli, Nova ratio aëris ponderandi. Excerpta ex Ephemeridibus Parisiensibus 31. Juli 1684 traducta. Acta Eruditorum. 1685. S. 433.

den Hahn wieder und wog den Rezipienten mit dem in ihn eingetretenen Wasser. So erhielt Bernoulli viel genauere Resultate wie seine Vorgänger, freilich nur für die Temperatur des verwendeten Wassers, über die er aber keine Angaben macht.

Wie in England und Italien, so war man auch in Deutschland darauf bedacht, durch gleichzeitige Beobachtungen, die an verschiedenen Orten angestellt wurden, die Kenntnisse von den Vorgängen im Luftkreise und am Erdkörper zu erweitern. Namentlich war es Sturm in Altorf, der bereits 1682 zu magnetischen Beobachtungen anforderte. Gilbert hatte die Untersuchungen über den Erdmagnetismus der wissenschaftlichen Behandlung zugänglich gemacht, nun war man bestrebt, die Ursache der wunderbaren Regelmäßigkeit der Variation, wie man die Deklination der Magnetnadel damals nannte, aufzufinden. Dazu müsse man, meinte Sturm¹⁾, mäßig große, leicht bewegliche Nadeln haben, die über recht genauen Theilungen spielten, wie sie Volckamer (1616—1693) zu seinen in Nürnberg angestellten Variationsbeobachtungen verwendet hatte. Die beste Zeit für solche Beobachtungen sei die in der Nähe der Äquinoktien und des Sommersolstitiums. Doch müsse dazu der astronomische Meridian sehr genau bestimmt werden, womöglich mit zuverlässigen Quadranten, jedenfalls mit größeren Instrumenten.

Drei Jahre später führte Sturm²⁾ einen 1683 von Hautefeuille³⁾ gemachten Vorschlag aus, um die Deklination in Altorf zu bestimmen. Er setzte zwischen das Okular und das Objektiv eines Fernrohres einen Ring mit einem senkrecht aufgespannten Seidenfaden und vor diesen eine auf

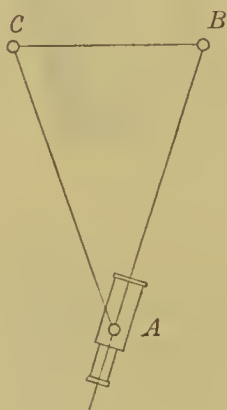


Fig. 259.

einer Messingnadel mit ihrem Hütchen schwebende Magnetnadel, deren eine Spitze sich in ganz geringer Entfernung von dem Faden bewegte. Das Okular stellte er so ein, dass der Faden und demgemäß auch die Spitze der Nadel scharf erschien, und rückte das Objektiv in solchen Abstand, dass entfernte Gegenstände ebenfalls deutlich gesehen werden konnten. Darauf drehte er das Fernrohr so lange, bis die Spitze der Nadel genau auf den Faden wies und ließ dann von einem Gehilfen eine Signalstange C (Fig. 259) so aufstellen, dass deren Bild mit dem Faden zusammenfiel. Eine zweite solche Stange B ließ er in die vorher bestimmte Richtung des Meridians setzen und maß nun

die Abstände $AB = 32' 8'' 2'''$, $AC = 36' 1'' 2'''$ und $BC = 7' 4'' 0'''$, woraus sich die Deklination für Altorf zu $10^\circ 5' 7''$ westlich berechnete.

1) Sturmius, Acta Eruditorum. 1682. S. 258.

2) Sturmius, Acta Eruditorum. 1685. S. 527.

3) Hautefeuille, Nouvel moyen de trouver la déclinaison de l'aiguille aimantée avec une grande précision. Paris 1683.

Weniger genaue Resultate waren mit der Methode von Teuber¹⁾ zu erhalten, bei der nur Lineale und Kreisbögen zur Verwendung kamen. Einen eigenartigen Apparat aber wollen wir gleich hier erwähnen, wenn er auch erst 1710 konstruiert worden ist, da er ein helles Schlaglicht auf die Art wirft, wie man die Deklination und ihre Änderungen damals auffasste. Er ist von Zumbach von Koesfeld (1661—1727) erdacht aber erst in neuester Zeit bekannt gegeben und bezweckt die Herstellung einer Magnetnadel, welche sich nicht in den magnetischen, sondern in den astronomischen Meridian einstellen soll. Wie dies gemacht werden sollte, zeigt die in Fig. 260 gegebene Abbildung des Apparates, wie er sich im Königlichen Museum zu Kassel befindet.

Die folgende handschriftliche Notiz liegt ihm bei:

»Diese Magnet Nadeln²⁾ können also bereittet werden, dass sie aller Orten der Welt sich nach dem Wahren Norden hinzu wenden, Wan man zu Vor die Declination des magneten solchess Ortz Weiß, und die beyde Schwänze der Magnet Nadel also und Viel Von einander scheidet oder eröffnet, bis sich die Spitze zu dem rechten Norden hinwendet. Inventiret durch Lotharium Zumbach d. Koesfeld M. D. et Math. prof. Cassel Anno 1710.« Es ist dies

dadureh erreicht, dass die Nadeln, die die Figur in der Ansicht und im Schnitte darstellt, aus je drei Teilen bestehen, welche in der Mitte bei *a* um eine Achse drehbar miteinander verbunden sind. Diese Achse bildet ein auf einer Spitze schwebendes Messinghütchen, mit welchem ein der Südhälfte der Nadel gleichgerichtetes Messingstäbchen *ab* starr verbunden ist, während ihre Süd- und Nordhälften *ac* und *ad* mit zwei übereinander liegenden Ringen auf einer eylinderförmigen Verlängerung des Hutes drehbar befestigt sind. Schiebt man *ab* und *ac* so übereinander, dass beide in die Richtung *ad* fallen und lässt die Nadel frei, so stellt sie sich in den magnetischen Meridian, durch Anseinanderschieben der Stäbchen lässt sich dann erreichen, dass sie gerade nach Norden zeigt. Ein verschiebbares Gegengewicht *e* lässt sich so stellen, dass die Nadel bei jeder Verschiebung von *ab* und *ac* wagrecht bleibt.

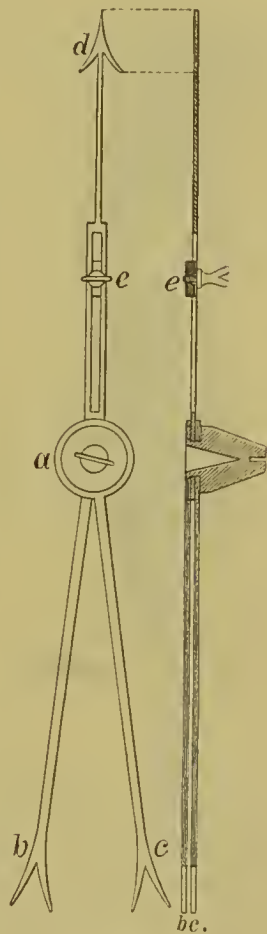


Fig. 260.

1) Teuber, Acta Eruditorum. 1686. S. 125.

2) Cüster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königl. Museum zu Kassel. Kassel 1878. S. 43.

4. Leenwenhoek und das einfache Mikroskop.

Die Entwicklung des Mikroskopes hat einen anderen Weg eingeschlagen, als man nach dem Aufsehen, welches Hookes Mikrographie erregte, hätte erwarten sollen. Das zusammengesetzte Mikroskop wurde durch das einfache wieder verdrängt. Zwar hatte Divini¹⁾ bereits 1668 jenes mit einem aus zwei plankonvexen Linsen bestehenden Okular versehen, welches die Gegenstände flach, anstatt gekrümmt sehen ließ, oder wie wir heute sagen würden, die sphärische Aberration sehr verringerte, zwar hatte 1686 ihm Campani²⁾ die in Fig. 261 abgebildete bequeme Form gegeben, die die Ein-

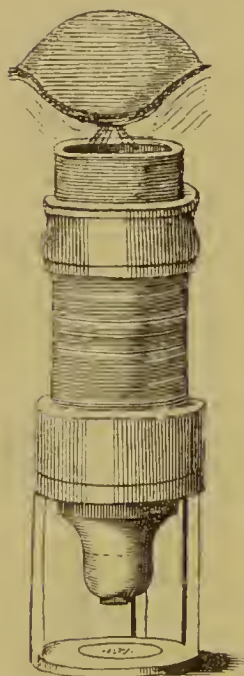


Fig. 261.

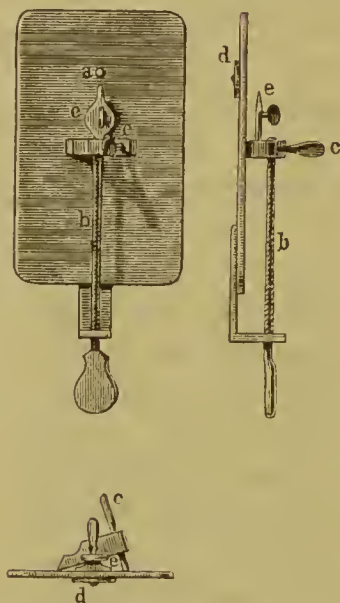


Fig. 262.

stellung durch Drehung des mit Schraubengewinde versehenen Instrumentes in seinem Halter möglich machte, aber der Mann, der die ersten mikroskopischen Beobachtungen mehr im modernen Sinne gemacht hatte, Antony van Leenwenhoek³⁾ (1632—1723), hatte mit dem einfachen Mikroskop gearbeitet und dadurch die Richtung bestimmt, in der sich während eines Jahrhunderts die Mikroskopie fortentwickelte. Sein sehr kleiner handlicher Apparat, den Fig. 262 in den drei Ansichten etwa in halber Größe zeigt, bot allerdings die Vorteile, dass die

Linse vom Beobachter selbst geschliffen oder durch ein in das Loch einer Messingplatte fallen gelassenes Tröpfchen geschmolzenen Glases, ja sogar Wassers erhalten werden konnte. Auf solche Weise hatten übrigens auch Hooke⁴⁾ und Hartsoeker⁵⁾ Linsen von starker Vergrößerung hergestellt. Mit diesen Mikroskopen ließ sich aber nur im durchfallenden Lichte beobachten und es war sehr beschwerlich, dass das Gesichtsfeld sehr klein war und die Bilder infolge der überaus starken Krümmung der fast kugelförmigen Linse, nur in seiner Mitte nicht verzerrt waren. Trotzdem gelang es dem

1) Philosophical Transactions. 1668. No. 42. S. 842.

2) Campani, Acta Eruditorum. 1686. S. 371.

3) Leeuwenhoek, Brieven geschreven aan verscheide hooge Standspersonen en geleerde Lieden. Delft 1696.

4) Hooke, Micrographia. Preface.

5) Hartsoeker, Essai de dioptrique.

Delfter Forscher, den Blutumlauf in den Füßen von Fröschen oder Flossen von Fischen, die Spermatozoen zu sehen, den Bau der Gehirnteile, die Teile des Auges zu untersuchen. Die Linsen schliß er sich selbst und hat nicht weniger wie 419 Linsen und 247 Mikroskope verfertigt. Bei seinem Mikroskop befindet sich die Linse bei *a* und ist in der Metallplatte mittels des angelegten Plättchens *d* befestigt. Das Schränkchen *b* bewirkt die Verschiebung des Objektträgers der Spitze *e* parallel, das Schränkchen *c* ihre Verschiebung senkrecht zur Platte. Zur Erleuchtung opaker Gegenstände benutzte Leenwenhoek einen Hohlspiegel; als Mikrometer nahm er Sandkörner, von denen er einigermaßen willkürlich eine gewisse Zahl auf einen Zoll rechnete und mit ihnen den beobachteten Gegenstand verglich.

Die Mikroskope mit kugelförmigen Linsen waren für eine geraume Zeit die am häufigsten angewendeten. Man überbot sich in Abänderungen ihrer mechanischen Teile, an den optischen änderte man nichts. Bei einer Reihe dieser Mikroskope, so dem von Wilson (Fig. 263)¹⁾, von Hartsoecker n. a. war die Linse in einem mit Gewinde versehenen Gehäuse, welches wie bei dem Campanischen Mikroskop durch Drehen dem Objekte genähert oder von ihm entfernt werden

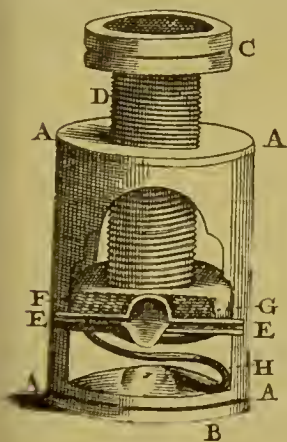


Fig. 263.

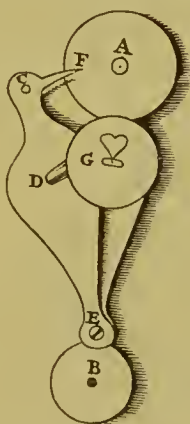


Fig. 264.

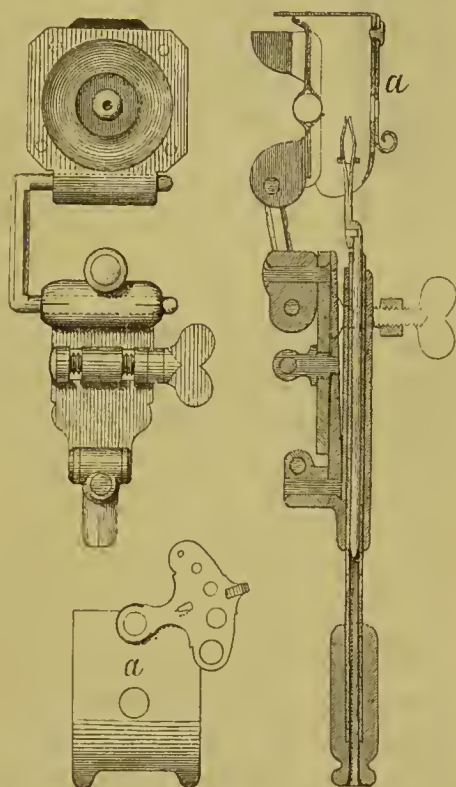


Fig. 265.

konnte, enthalten. Stephen Gray benutzte in seinem in Fig. 264 dargestellten Mikroskop als Linse ein kugeliges Wassertropfen. Er wollte das Objekt an die verschiebbare Spitze *F* befestigen, andere, wie Wilson ließen es durch ein Blatt oder eine Spiralfeder halten.

Ans der Menge der konstruierten und zum Teil auch noch in einzelnen Exemplaren erhaltenen einfachen Mikroskope greifen wir noch zwei heraus, die ein besonderes Interesse haben dürften. Zunächst das in Fig. 265 in Ansicht

1) Philosophical Transactions. 1700 Abridged. S. 199. Vol. IV. Plate 4. Fig. 72.
Gerland-Traumüller, Physik. Experimentierkunst.

und Schnitt dargestellte, durch vorzügliche Arbeit ausgezeichnete Mikroskop von Jan van Musschenbroek ¹⁾! Mit einer Schraube kann die richtige Einstellung des Objektes erreicht werden. Der durch eine Pincette gehaltene Gegenstand wird in eine kleine überschiebbare dunkle Kammer, die links unten besonders abgebildet ist, gestellt, und so störende seitliche Beleuchtung abgehalten, während durch die Öffnung *a*, deren Größe durch einen Schieber mit Diaphragmen in der dem einzelnen Fall angemessenen Weise abgeändert werden kann, das zur durchfallenden Beleuchtung nötige Licht eintritt. Der

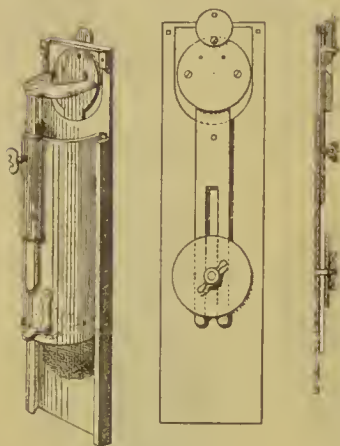


Fig. 266.

Linsenhalter ist auf den einen Arm eines L-förmigen Trägers gesteckt, so dass der Linse jede gewünschte Stellung gegeben werden kann. Dem in Fig. 266 dargestellten Mikroskope, welches dem von Leutmann (1667—1736) ähnlich ist, fehlt eine Vorrichtung, die Linse und das Objekt gegen einander zu verstellen. Es muss das durch Verschieben des Objektes auf dem durch eine Geradföhrung zu hebenden und zu senkenden Tisch gesehehen. In ähnlicher Weise kann die Linse gehoben und gesenkt werden. Direktes Sonnenlicht verwendete man wohl auch als Lichtquelle und erhielt, da es mit ihm möglich war die vergrößerten Gegenstände auf

einer Wand sichtbar zu machen, das Sonnenmikroskop. Nach Kästners Mitteilung ²⁾ hat es zuerst Samuel Reyher (1635—1714) in seiner *Mathesis mosaica* 1679 erwähnt.

Newton.

1. Die Farbenlehre.

Newtons große That ist die Zusammenfassung der Forschungsergebnisse, die in den Arbeiten Galileis, Keplers, Huygens' und anderer vorlagen, unter Annahme der allgemeinen Gravitation zu der auf mathematischer Grundlage aufgebauten Darstellung der Meehanik. Diese Darstellung bildet den Inhalt der »*Philosophiae naturalis prineipia mathematica*«, ein Werk, welehes, da es die zur Zeit noch offenen Fragen der Naturlehre zu beantworten sehien, die Bewunderung der Zeitgenossen und in noch höherem Grade diejenige derer, die nach ihm kamen, erregte. Ja, auch jetzt noch ist man vielfach geneigt, gestützt auf die *Principia* Newtons Leistungen nur mit ihnen selbst vergleichbar zu finden.

¹⁾ Cöster und Gerland, Beschreibung u. s. w. S. 45.

²⁾ Kästner, Geschichte des Sonnenmikroskops in Bernoullis und Hindenburgs Leipziger Magazin für angewandte Mathematik 1786. S. 405. Fischer, Physikalisches Wörterbuch. IV. Göttingen 1801. S. 687.

Wird man nun eine derartige Behauptung über Newtons andere Arbeiten nicht aufstellen können, so erhebt sich auch gegen die lediglich mathematisch formulierte Schwerkraft immer stärkere Opposition und die Versuche mehren sich, die ihre Wirkungen, wie sie bereits Galilei sich dachte, als an ein Medium irgend welcher Art gebunden nachzuweisen suchen. Es ist allerdings richtig, dass Newton die Annahme einer Wirkung der Schwerkraft in die Ferne im Verkehr mit Freunden von sich abgewiesen hat, dass er nie behauptete, dass sie so wirkte, sondern nur dass man ihre Wirkungen so auffassen könnte. Aber es lag auf der Hand, dass man dabei nicht blieb, sondern sich berechtigt fühlte, die Konsequenzen aus der Lehre des Meisters, die keine Dunkelheit mehr zu lassen schien, vollständig zu ziehen. Wie groß auch einerseits der Fortschritt war, den die Naturwissenschaft Newtons Prinzipien verdankte, sie legten ihr auf der anderen Seite Fesseln an, von denen diese sich jetzt wieder mit allen Mitteln zu befreien sucht.

In noch höherem Maße gilt dies von der zweiten großen Arbeit Newtons, deren Ergebnisse er in den »Optics« zusammenfasste. Mit ihr werden wir uns hier eingehender zu beschäftigen haben, denn wenn auch die Optics die Form eines mathematischen Lehrbuches zeigen, eine Anzahl Definitionen vorangestellt, deren Axiome und deren Beweise angeschlossen werden, so werden diese jedesmal durch den Versuch geprüft und bestätigt. Das aber giebt ihnen den Schein unanfechtbarer Ergebnisse, und da die Optics das lang vergeblich in Angriff genommene Problem der prismatischen und der Körperfarben in glücklichster Weise lösten, so stand man keinen Augenblick an, auch den übrigen in ihnen vorgetragenen Lehren dieselbe Beweiskraft zuzusprechen. So nahm man denn die Emissionshypothese des Lichtes allgemein an, obwohl es ihrem Schöpfer durchaus nicht gelungen war, alle damals auf optischem Gebiete bekannten Thatfachen daraus zu erklären, und so schlug auch dieses Werk die Forschung in die Fessel des Vorurteils, welche abzuwerfen erst unserm Jahrhundert gelungen ist.

Demgegenüber ist es überraschend, gewöhnlich das Gegenteil über Newton behaupten zu hören, dessen berühmtes Wort¹⁾: »Hypothesen mache ich nicht« (*hypotheses non fingo*) die Berechtigung dazu geben muss. Aber dabei wird immer übersehen, dass dieser Ausspruch sich nur auf das Wesen der Gravitation bezog und entfernt nicht die allgemeine Bedeutung hatte, die man ihr unterlegen zu dürfen glaubt. Und wenn auch die ersten Worte der Optics²⁾: »Meine Absicht in diesem Buche ist nicht, die Eigenschaften des Lichtes durch Hypothesen zu ergründen, sondern sie mit Hilfe der Theorie und des Experimentes aufzustellen und zu

1) Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Coloniae Alobrogum MDCCLX. Lib. III. Pars II. Scholium generale. S. 676.

2) Newton, *Optics*. 2. Ed. London 1718. S. 1.

beweisen«, sich auch gegen die Aufstellung von Hypothesen zu wenden scheinen, so muss doch hervorgehoben werden, dass er bereits auf der folgenden Seite jene löbliche Absicht aufgab¹⁾, denn dort lesen wir am Anfang der zweiten Definition²⁾: »Brechbarkeit der Lichtstrahlen ist ihre Fähigkeit (Disposition) gebrochen oder von ihrem Weg beim Übergang aus einen durchsichtigen Körper oder Mittel in einen anderen oder ein anderes abgelenkt zu werden«, und als dritte³⁾: »Zurückwerfbarkeit der Strahlen ist ihre Fähigkeit reflektiert oder zurückgeworfen zu werden in das nämliche Mittel von einem anderen Mittel, auf dessen Oberfläche sie fallen.«

So ging er bereits mit der vorgefassten Meinung der den Strahlen zukommenden Fähigkeiten an seine Untersuchungen und deshalb sind denn auch seine Versuche keineswegs die mustergiltigen, als welche man sie hergebrachter Weise betrachtet. Sie erschöpften nicht, wie die Guericques mit der Luftpumpe das Gebiet nach allen Seiten, obwohl sie von einer Weitläufigkeit waren, als habe es sich Newton zur Aufgabe gemacht, die Vorschriften Baco von Verulams für das Experimentieren recht genau einzuhalten. Dass Grimaldi⁴⁾ (1618—1663) schon vor ihm erkannt hatte,

dass das farbige Licht als Bestandteil des weißen angesehen werden müsse, thut seinen Verdiensten freilich keinen Abbruch, den strengen experimentellen Beweis lieferte erst er.

Er bediente sich dazu gewöhnlicher Glasprismen, wie man sie schon vor ihm vielfach zu ähnlichen Versuchen verwendete. Als Licht benutzte er Sonnenlicht, welches meist durch eine kreisförmige Öffnung in ein dunkles Zimmer fallen gelassen wurde. So stellte er zuerst fest, dass bei Anwendung zweier bestimmter Mittel verschieden farbige Strahlen verschiedene Brechungskoeffi-

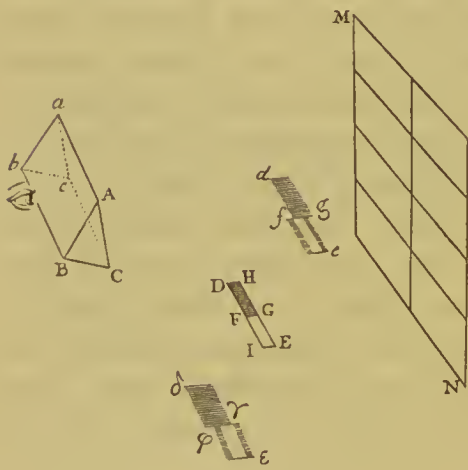


Fig. 267.

zienten besitzen. Dazu betrachtete er durch das Glasprisma $ABCabc$ (Fig. 267) ein zur Hälfte rotes, zur Hälfte blaues Papier $DHFGIE$, welches von dem durch das Fenster MN einfallende Licht grell beleuchtet war. Stellte er die brechende Kante nach oben, so sah er das Bild dfg der blauen Fläche höher, wie das der roten fge , im entgegen-

1) Richtig schildert den Thatbestand Heller in Geschichte der Physik. Stuttgart 1894. Bd. II. S. 291.

2) Newton, Optics. S. 2.

3) Newton, Optics. S. 3.

4) Grimaldi, Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride. Bononiae 1665. S. 18.

gesetzten Falle erhielt er das umgekehrte, wie $\delta\phi\gamma$ und $\phi\gamma\epsilon$ zeigen. Dabei entging ihm nicht, dass die Farben noch andere in anderer Weise brechbare enthielten, welche Veranlassung von farbigen Rändern wurden. Die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen der beiden Farben wies er sodann dadurch nach, dass er das Bild des zur Hälfte blauen, zur Hälfte roten Papiers DE (Fig. 268), welches durch ein Licht möglichst

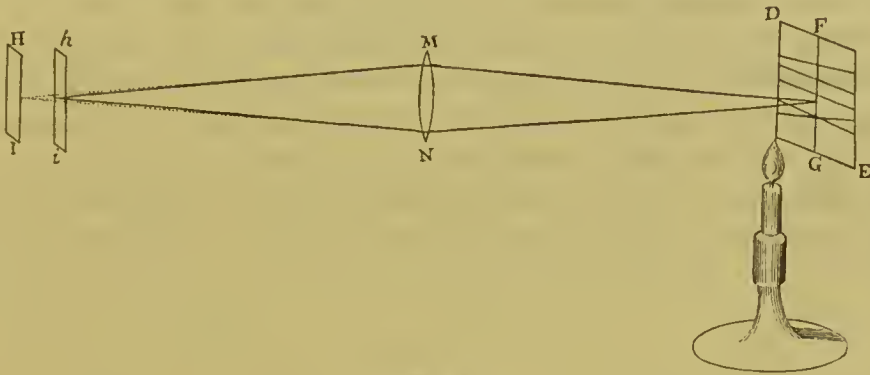


Fig. 268.

hell beleuchtet wurde, mittels der Linse MN auf einem Schirm entwarf. Schwarz seidene Fäden waren um DE geschlungen und ließen die Stelle HI eines Schirmes bestimmen, auf welchem das rote und die hi eines solchen, auf welchem das blaue Bild scharf entworfen wurde; das letztere lag der Linse näher.

Um den Nachweis zu führen, dass das Sonnenlicht aus verschiedenen farbigen Strahlen bestehe, entwarf Newton ein Spektrum PT (Fig. 269)

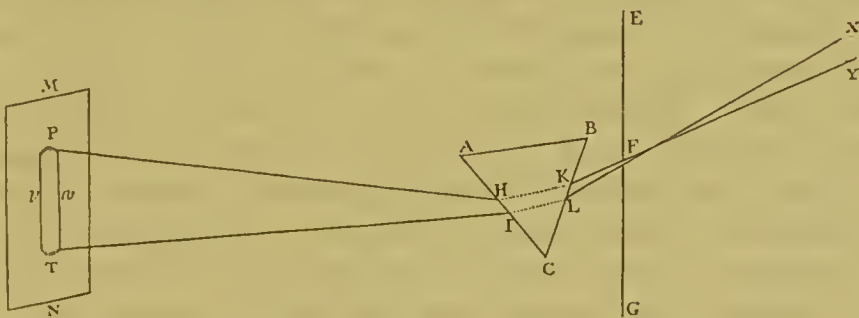


Fig. 269.

auf dem Schirm MN mittels des Prismas ABC , auf welches durch die runde Öffnung F im Fensterladen EG ein Strahlenbündel $XYKL$ fallen ließ. Er drehte dabei das Prisma um seine Längsachse und sah das farbige Bild der Sonne »erst herabgehen und dann wieder emporsteigen«. Als sich das Bild auf der Übergangsstelle zwischen beiden Bewegungen befand, setzte er das Prisma fest, stellte es also nach unserer Bezeichnung auf das Minimum der Ablenkung ein. Ebenso verfuhr er bei seinen sämtlichen späteren Versuchen. Er maß dann Länge und Breite des Sonnen-

bildes und überzeugte sich davon, dass einige im Prisma vorhandene Blasen auf die Länge des Spektrums keinen Einfluss hatten, indem er denselben Versuch mit verschiedenen Prismen anstellte. Den Grund dafür, dass an beiden Enden des Spektrums das Rot und Violett ein wenig überzugreifen schien, schrieb er Unregelmäßigkeiten in der Substanz und der Politur des Prismas zu. Änderungen in der Größe der Öffnung F im Fensterladen oder der Dicke der Schicht des Prismas, welche die Strahlen zu durchlaufen hatten, ergaben keinen Einfluss auf die Länge des Bildes. Ebenso wenig beobachtete er einen solchen, als er das Glasprisma durch ein prismatisches mit Wasser gefülltes Gefäß ersetzte, wobei ihm aber die Änderung in der relativen Länge der Farben entging. Er überzeugte sich weiter, dass die subjektive Betrachtung das nämliche ergab.

Die Wirkung einer zweiten Brechung auf die Strahlen untersuchte Newton zunächst, indem er hinter das erste ABC (Fig. 270) ein zweites

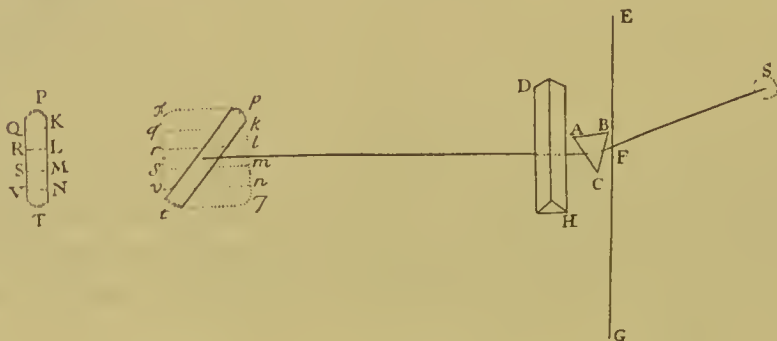


Fig. 270.

Prisma DH so aufstellte, dass ihre Achsen senkrecht aufeinander standen. Dabei ergab sich, dass die brechbaren Strahlen mehr nach der Seite abgelenkt wurden, die Breite des Sonnenbildes aber die nämliche blieb. Auch die Anwendung eines dritten, ja vierten Prismas änderte an diesem Ergebnisse nichts. Daraus schloss Newton, dass Grimaldis Annahme, die Strahlen könnten durch die Refraktion gespalten oder ausgebreitet oder in irgend einer anderen Weise unregelmäßig zerstreut werden, nicht richtig sein könne. Es ist dies der Versuch, den Newton in den *Philosophical Transactions* aber nicht in den *Optics* das Experimentum crucis nennt¹⁾. Vielfache Abänderungen des Versuches überzeugten ihn, dass die beobachteten Erscheinungen sich nur aus der Annahme erklären ließen, dass das einfarbige Licht zwar immer wieder nach Maßgabe seiner Farbe brechbar, aber nicht wieder zerlegbar sei. Das bewies er endlich endgiltig durch den in Fig. 271 dargestellten Versuch. Er sonderte aus einem Bündel Lichtstrahlen, welche durch ein Prisma ABC gegangen waren, durch zwei in ihren Weg gestellte Schirme DE und de die Strahlen einer Farbe aus und untersuchte sie mittels des zweiten Prismas abc . Er fand

1) Newton, *Philosophical Transactions*. 1672. No. 80. S. 3076.

Brechung, aber keine neue Farbenzerstreuung. Auch an diesem Ergebnis änderte die Vermehrung der Prismen nichts. Indem dann Newton das Spektrum auf Druckschrift fallen ließ und deren Bild mit Hilfe einer



Fig. 271.

Linse auf einen Schirm warf, überzeugte er sich, dass die Linse verschoben werden musste, wenn die von den verschiedenen Farben beleuchtete Schrift ein scharfes Bild geben sollte. Sodann ließ er einen Teil der Strahlen total reflektieren, ohne jedoch dabei neue Beweisgründe zu erhalten (Prop. II, Theor. III). Doch führte ihn der Versuch zu der Folgerung, dass es bei mikroskopischen Beobachtungen vorteilhaft sei, das Objekt nicht mit zu sehr zusammengesetztem Lichte zu beleuchten¹⁾.

Bei den Versuchen mit dem Spektrum machte es sich in störender Weise geltend, dass die kreisförmigen Bilder einander zum Teile deckten, dass ein reines Spektrum also nicht erhalten wurde. Diesem Mangel suchte Newton in verschiedener Weise abzuhelpen. Am nächsten lag es, zur Erreichung dieses Zweckes die Öffnung im Fensterladen zu verkleinern, und diesen Weg schlug der berühmte Engländer in der That ein, suchte aber das Bild durch Einschaltung einer Linse noch mehr zu verschärfen. Die Art, wie er seinen Versuch anordnete, zeigt Fig. 272. Die Linse *M* würde,

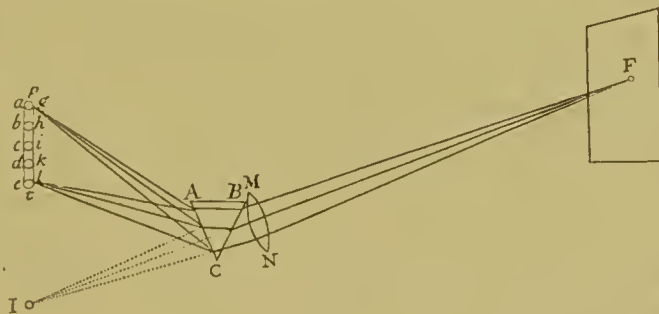


Fig. 272.

wenn das Prisma *ABC* nicht eingeschaltet worden wäre, das Bild *I* entworfen haben. Statt dessen erhält man das Spektrum *pt*, in welchem die Mischung heterogener Strahlen so gering ist, dass sie nicht mehr auffällt. Nur im Indigo und Violett ist sie zu bemerken, in welchen dunklen Farben

¹⁾ Newton, Philosophical Transactions. No. 88. S. 5096.

sie Ungleichmäßigkeiten im Prisma leichter hervortreten lassen. »Nun ist es aber besser«, bemerkt Newton¹⁾, »an Stelle der kreisrunden Öffnung *F* eine längliche zu setzen, und zwar von der Gestalt eines langen Parallelogramms, dessen Längsseiten dem Prisma *ABC* parallel sind«. Und weiter: »Anstatt dieser parallelogrammatischen Öffnung kann man eine solche in Gestalt eines gleichschenkeligen Dreieckes nehmen, dessen Basis z. B. ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll, und dessen Höhe mehr als 1 Zoll beträgt. Wenn alsdann die Achse des Prismas der Höhe des Dreieckes parallel ist, so wird das Bild *pt* [in Fig. 273] jetzt von gleichschenkeligen Dreiecken *ag*.

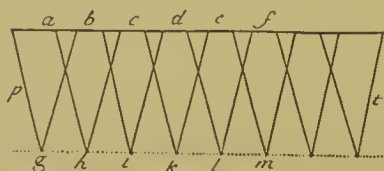


Fig. 273.

bh, *ci*, *dk*, *el*, *fm* u. s. w. und unzähligen anderen, zwischenliegenden Dreiecken gebildet werden, die der dreieckigen Öffnung in Gestalt und Größe entsprechen und neben einander in ununterbrochener Reihe zwischen den parallelen Geraden *af* und *gm* liegen. Diese Dreiecke sind an ihren Basen

ein wenig vermischt, aber nicht an ihren Spitzen; daher ist das Licht an der glänzenden Seite *af* des Bildes, wo die Basen der Dreiecke liegen, ein wenig zusammengesetzt, nicht aber an der dunkleren Seite *gm*, und die Zusammensetzung ist an allen Punkten zwischen den beiden Seiten dem Abstände von der dunkleren Seite *gm* proportional. Bei einem dergestalt zusammengesetzten Spektrum kann man entweder mit seinem stärkeren und weniger einfachen Lichte nahe der Seite *af* oder mit dem schwächeren und einfachen Lichte näher an *gm* Versuche anstellen, wie es gerade am passendsten erscheint«.

Wie wenig vollkommen die damaligen Linsen und Prismen noch waren, geht aus den Vorsichtsmaßregeln hervor, welche Newton empfiehlt. Die Randteile des Prismas und der Linse, die eine unregelmäßige Brechung geben, verklebt er mit schwarzem Papiere. Da es schwer hielt, tangliche Glasprismen zu erhalten, so benutzt er statt ihrer öfters prismatische Gefäße mit Spiegelglaswänden, welche er mit Regenwasser, wohl auch mit Bleizuckerlösung, füllte (Prop. IV, Probl. I).

Dass homogenes Licht nur regelmäßig gebrochen, nicht aber gespalten und zerstreut ist, woran Grimaldi gedacht hatte, bewies der englische Forscher dann noch dadurch, dass er, als er mittels einer runden Öffnung in einem Schirme aus einem darauf entworfenen Spektrum homogenes Licht absonderte und dieses durch ein Prisma gehen ließ, ein rundes, nicht aber ein langgezogenes Bild erhielt, dass er ferner eine runde Papierscheibe von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser, welche von Sonnenlicht, und eine zweite, ebenso große, welche von homogenem Lichte beleuchtet wurde, durch das Prisma betrachtete, wobei jene lang gestreckt, diese in ihrer natürlichen

1) Newton, Optics. S. 59 und 60. Übersetzung nach Ostwalds Klassiker. No. 96. S. 47 und 48.

Form erschien, dass er endlich kleine Gegenstände, die von Sonnenlicht oder von homogenem Lichte beleuchtet wurden, durch das Prisma anschaute und sie nur im ersten Falle von Farbensäumen umgeben sah (Prop. V, Theor. IV).

Im zweiten Teile der Optics wendete sich Newton der Frage zu, ob nicht vielleicht die Strahlen im reflektierten oder gebrochenen Lichte durch neue Modifikationen des Lichtes hervorgerufen würden. Dass die Reflexion einen solchen Einfluss nicht habe, ergab die direkte Betrachtung reflektierter Farben mit dem Prisma, dass er aber auch der Brechung nicht zukomme, beweist er durch folgende Versuche: Er ließ zunächst, Fig. 274,

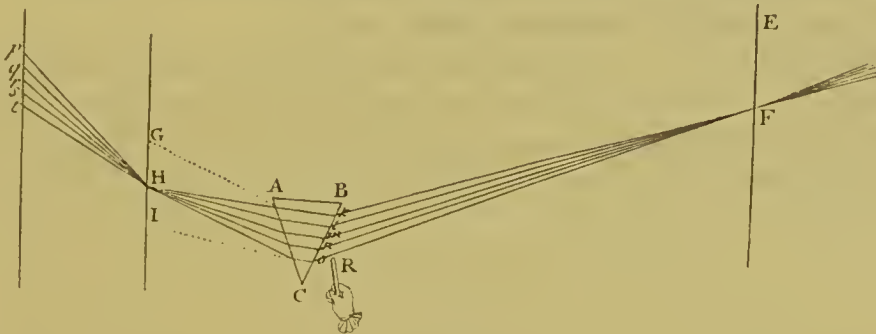


Fig. 274.

Sonnenlicht durch den mäßig schmalen Spalt F auf das Prisma ABC fallen, welches auf den geschwärzten Schirm ein weißes Bild H des Spaltes mit den farbigen Rändern IH und GH entwarf. Einen in diesem Schirme angebrachten Spalt rückte er so, dass auf ihn das weiße Bild H fiel. Die nach dem Durchgange durch den Schirm divergent weiter gehenden Strahlen entwarfen auf einem zweiten weißen Schirme ein Spektrum pt , dessen Farben sich nicht änderten, wenn er bei R den Kanten des Prismas parallel einen Draht in die Lichtstrahlen brachte. Man hatte daran gedacht, die Farben könnten aus den Schattengrenzen entstehen. Da jede Farbe bei diesem Versuche Schattengrenze werden konnte, ohne irgend welche Veränderung zu erleiden, so ergab sich die Unrichtigkeit dieser Annahme.

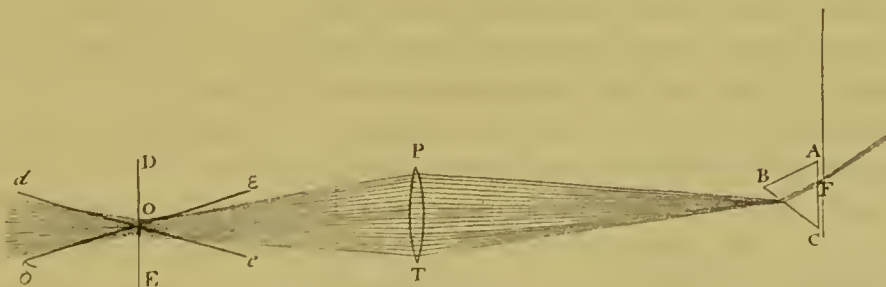


Fig. 275.

Sodann ließ Newton durch eine runde Öffnung F im Fensterladen (Fig. 275) Sonnenlicht auf das Prisma ABC fallen und vereinigte die von

ihm zerstreuten Strahlen mittels der Linse PT auf den Papierschirm DE : Stand der Schirm senkrecht zu dem Achsenstrahle BO wie DE , so erschien bei O ein weißer Fleck, befand sich der Schirm in der Lage de , wurde dieser Fleck rot und gelb, in der Lage $\delta\epsilon$ aber blau, obwohl die Schattengrenze in beiden Fällen dieselbe war (Prop. I, Theor. I).

Er änderte diese Versuche in der verschiedensten Weise ab, blendete unter anderem durch einen mit breiten Einschnitten versehenen, einer Zahnstange ähnlichen Papierstreifen, den er zwischen Prisma und Linse hielt, einen Teil der Farben ab und beobachtete dann, dass das auf DE entworfene Bild immer gefärbt war. Aber auch die Zähne des Papierstreifens zeigten Farben. Die auf ihnen auftretenden Farben gaben mit der auf DE erscheinenden zusammen immer weiß.

Endlich entwarf er ein Spektrum auf geteiltes Papier und bestimmte die Breite der einzelnen Farben. Er fand sie in demselben Verhältnisse stehend wie die Seitenlängen der die Tonleiter bildenden Töne. Nahm er nämlich der Reihe nach, Fig. 276, $G X$, λX , νX , ηX , ϵX , γX , αX und

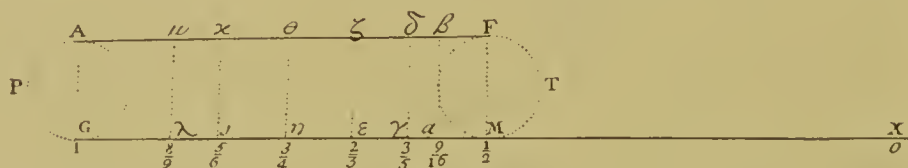


Fig. 276.

MX zu 1 , $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$ und $\frac{1}{2}$, so erstreckte sich das Rot über $M\alpha$, das Orange über $\alpha\gamma$, das Gelb über $\gamma\epsilon$, das Grün über $\epsilon\eta$, das Blau über $\eta\mu$, das Indigo über $\mu\lambda$ und das Violett über λG . Das bewog Newton zur Annahme der sieben Regenbogenfarben, obwohl der Unterschied zwischen Blau und Indigo ein durch den Augenschein keineswegs gerechtfertigter ist.

So gut es mit Pigmentfarben ging, suchte der berühmte englische Forscher nun auch durch Mischung verschiedener Farben Weiß zu erhalten. Es gelang ihm, indem er farbige Pulver mischte, in ausreichender Weise, besser noch mit der sehr hübschen Konstruktion des bekannten Farbenkreises, der ihn zu dem Schlusse kommen ließ, dass alle objektiven Farben homogene oder aus solchen zusammengesetzte Farben seien. Er erklärte nun vollständig die Farben des Regenbogens und berechnete die Winkel, unter denen seine Farben erscheinen, ebenso gelang ihm die Erklärung der Körperfarben, die er durch den jetzt noch dem nämlichen Zwecke dienenden Versuch über allen Zweifel erhob, dass ein Blatt Goldschaum im auffallenden Lichte gelb, im durchfallenden bläulichgrün erscheint.

Zur endgültigen Prüfung aller der von ihm erhaltenen Resultate stellte endlich Newton noch den Versuch an, den uns Fig. 277 vor Augen führt. Er ließ durch eine runde Öffnung F im Fensterladen ein Bündel Sonnen-

strahlen auf die Öffnung φ eines das Prisma ABC bedeckenden Schirmes fallen, das sie in ihre Farben zerlegte und auf die Linse MN gelangen ließ, die sie sammelte und als weißes Licht auf das dem ersten gleiche Prisma EdG warf. Da beide Prismen sich in gleichem Abstände von

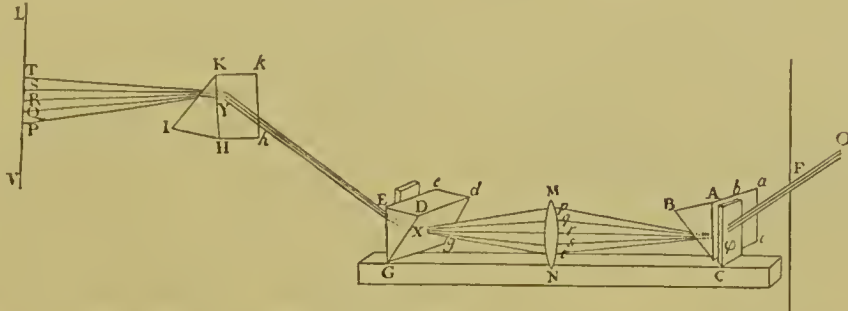


Fig. 277.

der Linse befanden, so gingen die von EDG gebrochenen Strahlen XY als ein Bündel paralleler weißer Strahlen weiter und ein drittes Prisma IKH konnte sie wieder zerlegen und auf dem Schirme LV das gewöhnliche Spektrum TP entwerfen. Somit war das mittels MN aus dem farbigen erhaltene weiße Licht dem ursprünglichen ganz gleich.

Auch die nach ihm benannten Farbenringe, welche entstehen, wenn man eine schwach gekrümmte Linse auf ein Stück Spiegelglas legt, hat Newton in den *Optics* beschrieben, endlich seine bekannte Hypothese zur Erklärung der Reflexion und Brechung. Danach sollen die von ihm angenommenen Lichtteilchen Anwandlungen (*fits*) von Reflexion und Transmission zeigen, eine Annahme, mit deren Hilfe er auch die Inflexion und Doppelbrechung zu erklären sucht. Den Gang des außerordentlich gebrochenen Strahles, den Huygens bereits richtig angegeben hatte, hat er aber falsch bestimmt. Die Darstellung dieser Betrachtungen gehört in die Geschichte der Physik, nicht in die der physikalischen Experimentierkunst.

2. Das Spiegelteleskop. Newtons sonstige Versuche.

Wir haben gesehen, dass die Brauchbarkeit der Refraktoren in hohem Grade durch die chromatische Aberration der Linsen beeinträchtigt war. Die Bestrebungen zur Verbesserung der Fernröhre mussten also von dem Studium der Farbenlehre ausgehen. Newton untersuchte deshalb die Größe des Kreises, als welcher das durch eine Konvexlinse entworfene Bild eines Punktes erscheint, indem er von der subjektiven Helligkeit der Farben ausging. Am stärksten fand er den Eindruck, den Gelb und Orange auf das Auge machen, nach ihnen den von Rot und Grün, noch schwächer ist der von Blau, Indigo und Violett aber sind so dunkel, dass man sie gar nicht zu berücksichtigen braucht. Entwirft nun eine Linse das Bild eines weißen Punktes in ihrem Brennpunkte, so wird alles Gelb und Orange

in einen Kreis fallen, dessen Durchmesser der 250. Teil von der Öffnung der Linse ist. In diesen Kreis fallen $\frac{3}{5}$ des von den dem Orange nächsten roten und den dem Gelb nächsten grünen Strahlen erzeugten Bildes, und etwa $\frac{1}{4}$ von der anderen Hälfte der roten und grünen Strahlen, deren Farbe als Dunkelrot und »Weidengrün« bezeichnet wird. Die außerhalb jenes Kreischens fallenden Strahlen werden auf einen soviel größeren Raum ausgebreitet, dass ihre Wirkung vernachlässigt werden kann, also namentlich die der blauen und noch mehr die der indigofarbenen und violetten Strahlen. »Das wahrnehmbare Bild eines leuchtenden Punktes ist daher kaum breiter, als der 250. Teil vom Durchmesser der Öffnung des Objektglases eines guten Fernrohres ist, oder doch nicht viel breiter, mit Ausnahme eines schwachen, dunkeln, nebeligen Lichtes ringsherum, welches der Beobachter kaum beachten wird«¹⁾. Unter einem solchen Durchmesser müsste also ein Stern erscheinen, wie das die Astronomen in der That beobachtet haben, während der Stern punktförmig erschien, sobald das Objektiv mit einer Rußschicht bedeckt wurde. Gegen diese durch die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen bedingten Ungenauigkeiten fallen die durch die Kugelgestalt der Objektive bewirkten ganz und gar weg.



Fig. 278.

Wäre die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen nicht vorhanden, so wäre es möglich, die Fernrohre zu größerer Vollkommenheit zu bringen, wenn man, wie dies schon Hooke vorgeschlagen hatte, die Objektive aus zwei Gläsern, $ABED$ und $BCFE$, zusammensetzte und den Zwischenraum zwischen beiden $BMEN$ mit Wasser füllte (Fig. 278). Da sie aber besteht, so kann man die Refraktoren nur durch Vergrößerung ihrer Länge verbessern, wie dies Huygens gethan hat. Solche aber werden sich leicht biegen und Erschütterungen zeigen, wodurch die Deutlichkeit der Bilder sehr beeinträchtigt wird. Kürzere Fernrohre kann man also nur erhalten, wenn man anstatt des Objektives einen konkaven Metallspiegel anwendet, wie es die Fig. 279 zeigt, wobei die Strahlen durch ein total

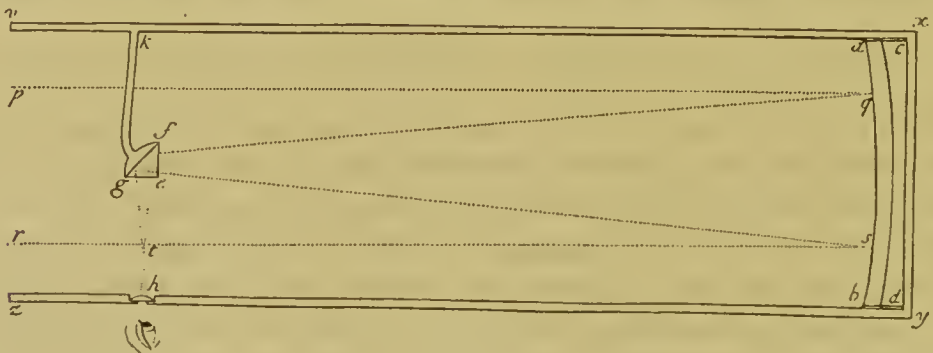


Fig. 279.

reflektierendes Prisma zurückgeworfen werden. Zwischen das Auge und das Okular stellte Newton ein Diaphragma, um unregelmäßig reflektierte Strahlen

1) Newton, Optics. S. 57. Ostwalds Klassiker. No. 96. S. 66.

anzufangen. Er verfertigte im Jahre 1671 zwei solcher Apparate, von denen der eine aber besser war wie der andere. Sie gaben stärkere Vergrößerung wie ein holländisches Fernrohr, wiesen aber geringere Lichtstärke auf, weil bei der Reflexion am Metalle mehr Licht verloren ging, wie beim Durchgange durch das Glas. Fig. 280 zeigt die Darstellung des Fernrohres in den Philosophical Transactions. Das eine dieser Fernrohre ist noch vorhanden¹⁾ und unterscheidet sich von dem abgebildeten nur durch die zweckmäßigere Anordnung der das Fernrohr tragenden Kugel.

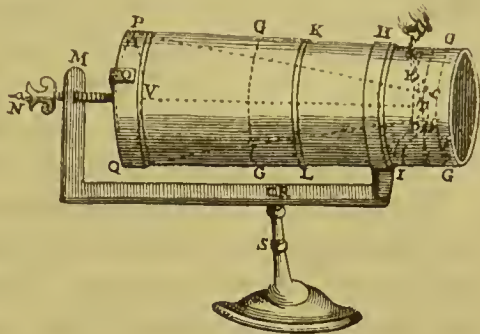


Fig. 280.

Übrigens ist Newton nicht der erste gewesen, welcher den Hohlspiegel zur Herstellung des Teleskopes verwendete. Dieses Verdienst gebührt dem Jesuiten Zucchi (1586—1670), dem es bereits 1616 nach mehreren missglückten Versuchen gelungen war, ein aus einem Hohlspiegel und einer Zerstreuungslinse bestehendes Fernrohr herzustellen²⁾, also genau das Analogon des holländischen Fernrohres zu schaffen. 1663 schlug Gregory (1638—1675) eine andere Konstruktion eines Spiegelteleskopes vor. Er wollte den Hohlspiegel durchbohren, der Durchbohrung einen zweiten kleineren Hohlspiegel entgegenstellen und das von diesem entworfene Bild durch eine Linse betrachten, welche sich auf der anderen Seite der Durchbohrung befand. Aber er glaubte, sphärische Spiegel nicht anwenden zu dürfen, er wollte vielmehr den einen Spiegel parabolisch, den anderen elliptisch machen³⁾. Da er aber solche Spiegel herzustellen nicht im Stande war, so blieb sein Vorschlag unausführbar. Newton erwähnt weder Zucchi noch Gregory, und es ist also möglich, was auch Huygens⁴⁾ anzunehmen scheint, dass er deren Vorschläge nicht kannte, als er sein Fernrohr entwarf. Indem nun Gregory sich die gelungene Ausführung des letzteren insofern zu nütze machte, als er auch sphärische Spiegel nahm, gelang ihm auch die Ausführung seines Teleskopes. Es scheint übrigens, als habe man damals alle Spiegelteleskope Newtonsche genannt oder Newton für

1) Es war in der Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London 1876 im South Kensington Museum zu sehen. Newton selbst giebt an, dass er obige Fernrohre 16 Jahre vor 1687 hergestellt habe (Optics. 2. Ed. London 1718. Advertisement I. vom Jahre 1704, S. 92). Am 25. Januar 1672 theilte Oldenburg Huygens eine Zeichnung des Newtonschen Teleskopes mit, welche genau mit dem noch vorhandenen Apparat übereinstimmt. (Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. 128. S. Gerland, in Hofmanns Bericht. I. S. 49.)

2) Zucchi, Optica philosophica. Lugd. Bat. 1652—56.

3) Gregory, Optica promota. Londini 1663. S. 92 ff.

4) Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. 134 und 189.

den Erfinder ihrer sämtlichen Arten gehalten. Wenigstens beschrieb noch 1742 ein Ungenannter¹⁾ das Gregorysche als Newtonsches Fernrohr. Das von Newton konstruierte Teleskop verdrängte bald, da es nur einen Spiegel

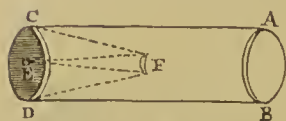


Fig. 281.

brauchte, alle übrigen, da, wo es sich um astronomische Beobachtungen handelte. Doch wurde auch das Gregorysche in kleinen Abmessungen häufig für Liebhaber hergestellt. Erst in neuerer Zeit dagegen fand der Vorschlag Cassegrains²⁾ mehr Beachtung, den Fig. 281 darstellt, das Fernrohr dadurch kürzer zu machen, dass man den kleinen Hohlspiegel Gregorys durch einen erhabenen Spiegel *F* ersetzte.

Ebenso wie bei den Refraktoren alles darauf ankam, dass das Objektiv gut geschliffen war, so bei den Reflektoren, dass der Spiegel eine möglichst regelmäßige Form aufwies. Wie nun die Forscher ihre Linsen selbst schliffen und sich keine Mühe verdrießen ließen, die möglichste Vollkommenheit zu erreichen, so bearbeitete Newton seine Spiegel selbst. Wie er es that, hat er genau beschrieben. »Ich nahm«, sagt er³⁾, »zwei runde Kupferplatten, jede von 6 Zoll Durchmesser, eine konvexe und eine konkave, die sehr genau aufeinander passten. Auf der konvexen rieb ich das konkave oder Objektivmetall, welches geschliffen werden sollte, so lange, bis es die Gestalt der konvexen hatte und zur Politur fertig war. Hierauf überzog ich das konvexe Metall mit einer ganz dünnen Schicht von Pech, welches ich geschmolzen darauf träufelte, und erhielt das Pech durch Erwärmen weich, während ich es mit der angefeuchteten konkaven Kupferplatte presste und rieb, um es gleichmäßig über die konvexe Platte zu verbreiten. Durch sorgfältiges Arbeiten machte ich diese Pechschicht so dünn wie ein 4 Pencestück, und nachdem die konvexe Platte erkaltet war, rieb ich wieder, um ihr, so gut ich konnte, die richtige Gestalt zu geben. Hierauf nahm ich Zinnasehe, die ich durch sorgfältiges Waschen von allen gröberen Partikelehen befreit und sehr fein gemacht hatte, legte davon ein wenig auf das Pech und verrieb sie mit der konkaven Kupferplatte, bis kein Geräusch mehr hörbar war, dann rieb ich mit rascher Bewegung die Objektivplatte auf dem Pech unter kräftigem Drücke 2 bis 3 Minuten lang, that frischen Zinnsand auf das Pech, rieb wieder, bis es kein Geräusch mehr gab und rieb dann die Objektivplatte darauf wie zuvor. Dies setzte ich fort, bis das Metall poliert war, indem ich zuletzt mit aller meiner Kraft eine ziemliche Weile rieb und dabei häufig auf das Pech, um es feucht zu machen, Wasser brachte, ohne frischen Zinnsand aufzulegen. Das Objektivmetall war 2 Zoll breit und, um es vor Biegung zu bewahren, etwa $\frac{1}{3}$ Zoll

1) Nova Acta Eruditorum. 1742. S. 33.

2) Zuerst mitgeteilt von Denis in Recueil des Mémoires et Conférences sur les Arts des Sciences Présentées à Monseigneur le Dauphin Pendant l'année 1657. Journal des Sçavans 15. Avril 1672.

3) Newton, Optics. S. 92. Ostwalds Klassiker. Nr. 96. S. 69 ff.

dick. Ich hatte zwei solche Metallobjektive, und wenn ich sie beide poliert hatte, probierte ich, welches das bessere sei, und bearbeitete das andere wieder, um zu sehen, ob ich es noch vollkommener herstellen könnte, als das, was ich behielt. So lernte ich durch viele Proben die Methode des Schleifens, bis ich endlich die zwei Spiegelteleskope machte, von denen ich vorhin sprach. Diese Art zu schleifen lernt man besser durch wiederholte Übung, als aus meiner Beschreibung. Bevor ich das Objektivmetall auf dem Pech bearbeitete, rieb ich allemal mit der konkaven Kupferplatte die Zinnasehe auf ihm, bis kein Geräusch mehr wahrgenommen wurde; weil die kleinsten Theilchen der Zinnasehe, wenn sie nicht fest in das Pech eindringen, beim Hin- und Herrollen das Objektivmetall zerkratzen und reiben und eine Menge kleiner Löcher machen würde«.

»Da aber Metall schwerer zu schleifen ist als Glas und nachher auch sehr leicht durch Trübewerden wieder verdirbt, außerdem das Licht nicht so leicht reflektiert wie amalgamiertes Glas, so würde ich vorschlagen, anstatt Metall ein auf der Vorderseite konkav, auf der Rückseite ebenso stark konvex geschliffenes Glas zu benutzen, welches auf der konvexen Seite amalgamiert würde. Dies Glas muss überall von genau gleicher Dicke sein, da sonst die Objekte farbig und undeutlich erscheinen. Aus einem solchen Glase versuchte ich vor 5 oder 6 Jahren ein Spiegelteleskop von 4 Fuß Länge zu machen und kam zu der Überzeugung, dass es nur an einem geschickten Künstler fehlt, diese Absicht zur Ausführung zu bringen. Denn das Glas, welches von einem unserer Londoner Künstler nach der Methode, wie sie Ferngläser schleifen, bearbeitet war, schien zwar ebenso gut gearbeitet, wie es diese gewöhnlich sind, als es aber amalgamiert war, ließ die Reflexion unzählige Ungleichheiten, über das ganze Glas verteilt, erkennen, so dass die Objekte durch dieses Instrument ganz undeutlich erschienen. Denn die von Ungleichheiten im Glase stammenden Fehler der reflektierten Strahlen sind ungefähr sechsmal so groß, als die auf dieselbe Weise hervorgerufenen Fehler der gebrochenen Strahlen. Indessen überzeugte ich mich bei diesen Versuchen, dass die Reflexion an der konkaven Seite des Glases, von der ich fürchtete, dass sie beim Hindurchblicken stören würde, dies doch nicht merklich beeinträchtigte, dass also nichts zur Vervollkommenung solcher Fernrohre fehlt, als gute Arbeiter, welche genau sphärisch zu schleifen und zu polieren verstehen. Ich habe einmal ein Objektivglas eines 14 Fuß langen Fernrohres, welches ein Londoner Künstler gefertigt hatte, bedeutend verbessert, indem ich es mit Zinnasehe auf Pech polierte, und dabei nur ganz leicht aufdrückte, damit die Zinnasehe nicht ritzte. Ob nicht diese Methode für die Politur der zu Reflektoren bestimmten Gläser genügen würde, habe ich nicht ausprobiert; wer aber diese oder eine andere Schleifmethode, die er für besser hält, versuchen will, der wird gut thun, seine zur Politur bestimmten Gläser beim Schleifen nicht mit soleher Gewalt zu drücken, wie es bei unseren Londoner Arbeitern üblich ist«.

Diese Schilderung der Art, wie Newton seine Spiegel herstellte, enthält durchaus nichts Neues, sie zeigt ihn vielmehr ganz abhängig von den Künstlern und den Arbeitern. Namentlich die Kupferschalen, deren Form er durch Schleifen auf den Spiegel erhielt, scheint er sich haben anfertigen zu lassen. Wie er sie erhalten hat, sagt er mit keinem Worte, und es musste doch alles darauf ankommen, dass sie genau kugelförmig waren. So hatte wohl Huygens nicht Unrecht, wenn er sich über Newtons Teleskop folgendermaßen äußerte¹⁾: »Wenn Herr Newton nicht bereits einen Weg gefunden hat, es besser zu machen, wie es gewöhnlich geschieht, fürchte ich, dass sein Fernrohr die Gegenstände nicht so gut wird unterscheiden lassen, als solche mit Gläsern gestatten«. Newton nahm diese Kritik freilich sehr übel, aber seine gereizte Äußerung darüber änderte nichts an der Sache²⁾.

Von den weiteren experimentellen Arbeiten, welche Newton ausführte, haben wir diejenigen über die Erkaltung besprochen, es bleiben nur noch einige elektrische und magnetische Versuche zu erwähnen³⁾. Er fand, dass eine Glastafel, die auf einem messingenen Ringe ruhte, durch Reibung am besten mit Wolle elektrisch werden konnte, und sah, dass die Tafel kleine leichte Körperchen dann anzog. Er mag dabei der erste gewesen sein, der sich des Glases als zu reibenden Körpers bediente, im übrigen unterscheiden sich seine Versuche kaum von den entsprechenden Gnerickes. Die magnetischen Beobachtungen, deren Einzelheiten er nicht mitteilt, führten ihn auf den Gedanken, dass die magnetische Kraft im Verhältnisse der dritten Potenz der Entfernung wirke⁴⁾.

Werfen wir nun noch einen Blick auf Newtons experimentelle Arbeiten im ganzen, so unterscheiden sie sich von denen seiner großen Zeitgenossen auf den ersten Blick dadurch, dass sie neue Erfindungen kaum enthalten. Denn auch das Spiegelteleskop war bereits lange vor ihm da, wenn es auch möglich ist, dass diese Idee auch ihm angehört. Dagegen ist es bei ihnen ein moderner Zug, dass sie die Erkenntnis eines oder mehrerer Gesetze zu vermitteln und deren Richtigkeit dann nachzuweisen suchen. So fassen ja auch die Principia systematisch in mathematischer Form das vorhandene Material zusammen, und diese neue und imponierende Art der Darstellung, und vielleicht noch mehr seine Fluxionsrechnung umgeben seinen Namen mit einem Nimbus, dass seine Arbeiten für

1) Huygens, Philosophical Transactions. 1672. No. 81. S. 4008. »If Mr. Newton hath not already found a way to make it better than ordinarily, I apprehend his telescope will not so well distinguish Objects as those with glasses« und ähnlich in dem Brief an Oldenburg vom 1. Juli 1672. Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. auch Mém. Par. X. 1672. S. 505.

2) Brief Newtons an Oldenburg vom 3. Juli 1673. Huygens, Oeuvres complètes. VII. S. 332.

3) Newton, Philosophical Transactions. 1675.

4) Newton, Principia. Lib. III. Prop. VI. Coroll. 5.

diejenigen der folgenden 100 Jahre mehr oder weniger bestimmend wurden. Damit tritt er neben Galilei. Aber während das unter des großen Florentiners Einfluss stehende Jahrhundert das des größten und dauernden Fortschrittes ist, wie ja ohne es für die Principia der Stoff nicht vorhanden gewesen wäre, so weist das von Newton abhängige, von Herbeischaffung einigen empirischen Materiales abgesehen, fast nur Rückschritte an. Erst nachdem die richtigeren Anschauungen, welche vor ihm aufgestellt waren, wieder Beachtung und bald Geltung gefunden hatten, waren die Fortschritte unseres Jahrhunderts möglich, die dieses neben, ja über das der Renaissance stellen.

Réaumur und das Thermometer.

So groß war der Fortschritt gewesen, den Fahrenheit in der Kunst der Herstellung der Thermometer gemacht, so angesehentlich die Verbesserungen, die er an dem so wichtigen Instrumente angebracht hatte, dass man ein Wiederaufgeben der errungenen Vorteile für unmöglich halten musste. Auch waren die bedeutungsvollen Arbeiten von der Royal Society veröffentlicht, und so schien auch für ihre weite Verbreitung auf das beste gesorgt zu sein. Trotzdem kannte sie das Mitglied der Pariser Akademie der Wissenschaften, Antoine de Réaumur (1683—1757), nicht, als der berühmte Zoologe, dem auch die Eisenindustrie wichtige Förderung verdankt¹⁾, daran ging, die damals im Gebrauche befindlichen Thermometer zu verbessern. Der Mangel an brauchbaren Instrumenten dieser Art mochte ihm bei einigen Versuchen, die er angestellt hatte und die die Auflösungen zum Gegenstande hatten, unangenehm aufgefallen sein. Man wusste zu seiner Zeit bereits²⁾, dass beim Auflösen von Salzen eine Abkühlung, bei der Mischung von Flüssigkeiten eine Erwärmung eintritt; Geoffroy, der jüngere (1695—1752), hatte die letzte bei Mischung von Alkohol und Wasser genauer untersucht³⁾. Réaumur fand nun, dass bei einer solchen Mischung eine Kontraktion eintrete⁴⁾ und bestätigte dies durch Beobachtung der Ausdehnung gefundene Ergebnis durch Bestimmungen der spezifischen Gewichte der Mischung und ihrer Bestandteile mittels des Dichtigkeitsfläschchens von Homberg. Die Thermometer, welche ihm für diese Untersuchung zur Verfügung standen, waren freilich mit Fahrenheit'schen entfernt nicht zu vergleichen. Man braucht nur einen Blick auf die in Leiden noch befindlichen von ihm verfertigten Apparate zu werfen, um sich zu überzeugen, wie sehr gegen jene ein ebenfalls dort aufbewahrtes Pariser

1) L. Beck, Geschichte des Eisens. III. Abt. S. 765 ff.

2) Hist. et Mém. de l'Académie de Paris. 1730. S. 452. Übersetzt in Ostwalds Klassikern. Nr. 57. S. 19.

3) Mém. de l'Acad. de Paris. 1713. S. 53.

4) Mém. de l'Acad. de Paris. 1733. S. 165 ff. Übersetzt in Ostwalds Klassikern. Nr. 57. S. 100.

Instrument vom Jahre 1736 mit seinem ungefügten kugelförmigen Gefäß, seiner Alkoholfüllung und seiner Skala auf hinter das Rohr gelegtem Papier absticht. In ihrem Äußeren waren die Réaunurschen Thermometer von solchen Instrumenten nur wenig verschieden. Gegen die Thermometer aber, wie sie trotz Amontons Arbeiten damals in Paris allein im Gebrauche gewesen sein müssen, bedeuteten allerdings Réaumurs Arbeiten einen Fortschritt. Ihre allgemein geschichtliche Stellung ist freilich die, dass sie der Einführung der von Fahrenheit angebrachten Verbesserungen lange hindernd im Wege gestanden haben und es der umfassenden Arbeit Deluc bedurfte, um die Kunst der Herstellung der Thermometer wieder in ersprißlichere Bahnen zu lenken.

Vor allem tadelt Réaumur, dass die damaligen Pariser Thermometer eine Vergleichung ihrer Angaben unmöglich machten, da an den verschiedenen Instrumenten ein auf gleiche Weise bedrucktes Papier die Größe der Grade angebe, die Größe der Kugel und ihr Verhältnis zum Rohre mochte sein, welches es wolle. Weiter findet er es vom Übel, dass das Kaliber der Röhren nicht gleichmäßig sei und begiebt sich zunächst daran, diese Unvollkommenheit zu verbessern. Dabei hat er freilich nur das Florentiner Thermometer mit Alkohol im Auge. Außer diesem kennt er nur das Luftthermometer, das bei diesem aber als Sperrflüssigkeit angewendete Quecksilber nun auch, wie es Fahrenheit that, als thermometrische Substanz zu benutzen, fällt ihm, trotz der großen Schwierigkeiten, welche ihm der Alkohol macht, nicht ein. Wohl denkt er daran, den Weingeist durch Wasser zu ersetzen, kommt aber davon zurück, da die Ausdehnung des Wassers nicht groß genug ist.

Die kleinen Instrumente, wie sie damals üblich waren und jetzt noch üblich sind, zu kalibrieren, erwies sich freilich als nicht thunlich, er schlug also denselben Weg ein, wie längst vor ihm Hooke, er nahm Thermometer von $2\frac{1}{2}$ bis 3, ja $3\frac{1}{2}$ Linien lichtem Durchmesser, obwohl er nicht erkennt, dass deren Empfindlichkeit nicht groß sein kann. Die Kalibrierung selbst führt er mit Wasser aus, welches er mit den Pipetten (Fig. 282, [Fig. 3, 5 und 11]) von verschiedener Größe in das Rohr mit angesetzter Kugel (Fig. 1) einfüllte. So war es leicht in nicht zu weite Rohre gleiche Volumina Wasser zu bringen, in weitere wurde es aus den Messfläschchen (Fig. 6 und 7), die mittels der Pipetten kalibriert waren, unter Anwendung des Trichters (Fig. 10) gefüllt. Den einen seiner festen Punkte legte er dann nach *C* (Fig. 1) und leerte nun das Messgefäß soviel Mal in das Thermometer aus, bis das Wasser nahe unter *C* zu stehen kommt. Durch Hineinwerfen von Sandkörnern oder Glasstückchen in das Thermometer bringt er es dann dahin, dass die Flüssigkeit genau bis *C* steht, also eine ganze Anzahl Volumina angegeben werden. Nun fügt er gleiche Volumina hinzu und zieht neben den jedesmaligen Stand des Wassers einen Strich auf die Platte, auf welche nach Maßgabe der Fig. 282 (Fig. 8) das Thermometer befestigt worden ist. Dabei findet er es zweckmäßiger, nicht etwa

überhaupt statt Wasser Quecksilber zu nehmen, sondern zu dem bis *C* gebrachten Wasser Quecksilber behufs des Kalibrierens zu bringen. Um die Teilstriehe unter *C* zu erhalten, wird dann jedesmal soviel Wasser ausgegossen, bis das angewendete Maßgefäß gefüllt ist, und nun die Höhe des zurückgebliebenen bezeichnet. Nachdem das Graduieren beendet ist, wird

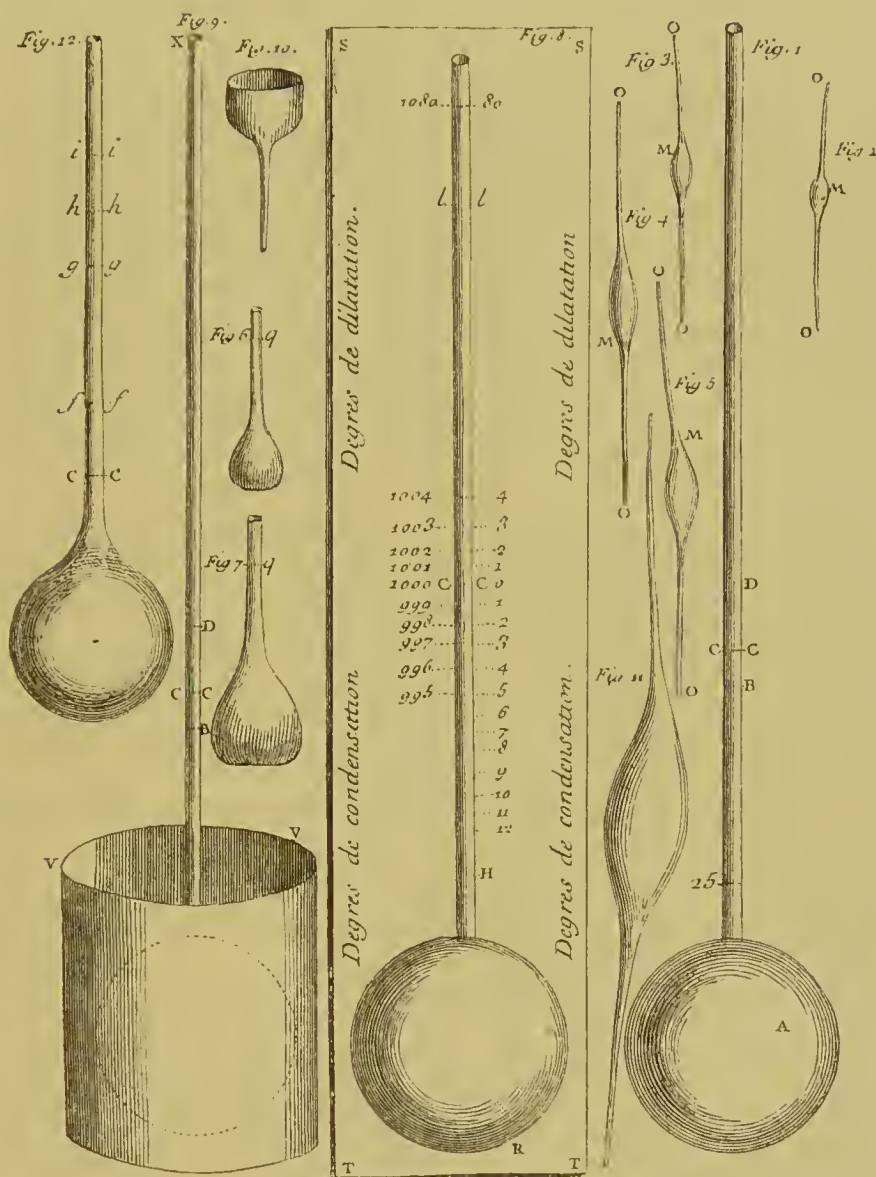


Fig. 282.

das Wasser ausgegossen und das Thermometer getrocknet, wobei es Réaumur für unbedenklich findet, wenn »eine gelinde Feuchtigkeit« in ihm zurückbleibt. Darauf wird soweit Weingeist in das Thermometer gegossen, dass er etwa 3 bis 4 Grade über dem Nullpunkt steht und das so gefüllte in das in Fig. 282 (Fig. 9) dargestellte Blechgefäß gesetzt, welches Wasser enthält. Um dieses zum Gefrieren zu bringen, stellt es Réaumur

in ein weiteres Gefäß und füllt den Zwischenraum zwischen beiden mit einer aus Eis und Salpeter, Salmiak oder Seesalz bestehenden Kältemischung. Das Wasser im Gefäße *IV* friert und wenn man glaubt, dass die herabgegangene Flüssigkeit im Thermometer ihren niedrigsten Stand erreicht habe, füllt man noch etwas zu oder saugt mit einem Kapillarrohre soviel ab, dass ihre Oberfläche mit der aufgetragenen Marke übereinstimmt. Darauf wird das obere Ende zugeschmolzen oder mit einem Kite von Wachs und Terpentin verschlossen.

Lässt sich nun aus dem Gesagten bereits entnehmen, dass Réaumur's Vertrauen zu der Unveränderlichkeit der Erstarrungstemperatur des Wassers kein allzu großes war, so erhöht es die Achtung vor seinen Arbeiten keineswegs, wenn man weiter findet, dass er sechs Jahre nach Fahrenheit's Veröffentlichung seiner Entdeckung der Übersmelzung und deren Ursachen für eine etwa vorhandene Veränderlichkeit jener Temperatur durch Einwirkung der Luft auf das erstarrende Wasser genug gethan zu haben glaubt, wenn er diese davon abhält. Wie überaus gering indessen seine Anforderungen an die Unveränderlichkeit der festen Punkte seiner Thermometer waren, beweist die Art, wie er deren Siedepunkte zu bestimmen suchte.

Dies mit Hilfe von rektifiziertem Weingeist zu thun, war wegen dessen niedriger Siedetemperatur nicht möglich. Er suchte also durch eine Mischung von Wasser und Weingeist eine Flüssigkeit von so hohem Siedepunkt zu erhalten, dass die Bestimmung des Siedepunktes des Wassers mit ihr vorzunehmen war. Auf direktem Wege ging das freilich nicht, denn der Siedepunkt einer jeden solchen Mischung blieb hinter der des Wassers weit zurück, aber auf einem Umwege glaubte er sein Ziel erreichen zu können. Er goss in einen Kolben mit engem Halse, den Fig. 282 (Fig. 12) darstellt, Weingeist bis *ff* und stellte ihn in ein Gefäß mit Wasser. Dieses Wasser erwärmte er so weit, dass der Weingeist anfang zu sieden. Das hörte aber sofort auf, wenn der Kolben aus dem Wasser gehoben wurde, der Weingeist nahm nun eine feste Stellung im Kolbenhalse ein, welche mit *gg* bezeichnet ist. Darauf stellte Réaumur den Kolben wieder in das Wasser und wiederholte den Versuch; da aus dem Kolben Alkohol verdampft war, so zeigte die zurückgebliebene Flüssigkeit nun einen höheren Siedepunkt. Nach Herausheben des Kolbens aus dem Wasser stellte sich nun die Flüssigkeit bis *hh*. So fuhr Réaumur fort, auch als das Wasser im äußeren Gefäße bereits ins Sieden gekommen war. Dann stand nach dem Herausnehmen die Flüssigkeit im Kolben bei *ii*, und erhob sich nun nicht weiter. So wollte der Pariser Akademiker den Grad der Ausdehnung einer Weingeistprobe bestimmen. Ebenso verfuhr er mit einem Thermometer, von dem die Skala entfernt und dessen vorher bestimmter Eispunkt mit einem Fädchen bezeichnet worden war, zur Bestimmung seines Siedepunktes. Er wiederholte diese Versuche zu verschiedenen Malen und kam schließlich zu dem Ergebnis eine Mischung von Weingeist und Wasser als am

geeignetsten zur Füllung der Thermometer zu erklären, deren Volumen beim Gefrieren des Wassers 1000 ist, beim Behandeln in der angegebenen Weise aber ein solches von 1080 aufweist. Acht Teile Ausdehnung auf je Hundert gebe ja eine bequem teilbare Zahl. Nimmt man also stets solchen Weingeist zur Herstellung der Thermometer, so erhält man Instrumente, deren Angaben vergleichbar sind.

Die Arbeiten Réaumurs weisen insofern einen Fortschritt gegen die seiner Vorgänger auf, als er das Thermometerrohr kalibrieren, die Ausdehnung der thermometrischen Substanz seiner Skala zu Grunde legen wollte. Von Bedeutung aber konnten diese Verbesserungen nicht werden, wegen der Unsicherheit der Lage der festen Punkte. Namentlich war die des Siedepunktes so unsicher, dass dessen Abhängigkeit vom Luftdruck bei seiner Bestimmung ganz außer acht bleiben konnte. Nimmt man dazu die geringe Empfindlichkeit der Réaumurschen Riesenapparate, so wird man nicht umhin können, des französischen Akademikers thermometrische Arbeit als in jeder Hinsicht verfehlt zu erklären. Leider wurde sein durch andere Leistungen berühmter Name Ursache, dass die Folgezeit sich auch an die minderwertigen unter ihnen hielt und so die sachgemäße Weiterbildung des so wichtigen Messapparates verzögert wurde. Dass Réaumurs thermometrische Untersuchungen auf einem ihm nicht vertrauten Gebiete lagen, beweisen die auch zu seiner Zeit höchst befremdlichen Anschauungen über den Druck der Flüssigkeitssäule und der Luft im Thermometer, die er auf die Autorität einiger Mitakademiker hin vortrug. So fehlte es denn auch nicht an Stimmen, welche sich gegen ihn erhoben. De l'Isle¹⁾ (1688—1768) war es, der 1736 den Hauptfehler des Réaumurschen Apparates, die Wiedereinführung des Alkohols durch Zurückgehen auf Fahrenheits Vorschlag der Verwendung des Quecksilbers als thermometrische Substanz auszumerzen suchte. Die Ausdehnung des flüssigen Metalles sei genügend groß, um die genauesten Beobachtungen zu gestatten. Er konnte jedoch mit diesem Vorschlage nicht durchdringen und noch weniger mit dem weiteren einer wenig zweckmäßigen neuen Skala, die den Siedepunkt mit 0 bezeichnen, den Raum zwischen ihm und dem Frierpunkt in 1000 Teile teilen wollte. Dagegen drang zwölf Jahre nach der Einführung der Réaumurschen Skala der Vorschlag des Schweden Celsius²⁾ (1701—1744) durch, den Raum zwischen Eispunkt und Siedepunkt in 100 Teile zu teilen, jenen mit 0, diesen mit 100 zu bezeichnen, also die Bezeichnung einzuführen, die gegenwärtig für wissenschaftliche Messungen wohl ausschließlich im Gebrauche ist³⁾.

1) De l'Isle, Philosophical Transactions. 1736. No. 441. S. 221.

2) Celsius, Abhandlungen der schwedischen Akademie. 1742. IV. Bd. S. 197. Vgl. Ostwalds Klassiker. Nr. 57. S. 117.

3) Van Swinden (Dissertation sur la Comparaison des Thermomètres. Amsterdam 1778. S. 116) nennt Strömer als denjenigen, der die Bezeichnungen eingeführt habe, die Celsius umgekehrt vorgeschlagen hatte, und beruft sich dabei auf S. 154

Die Lehrbücher und Vorlesungsversuche.

1. 's Gravesande und Jan van Musschenbroek.

Newtons *Principia philosophiae naturalis* hatten die theoretischen Ergebnisse der Forschung seit Galilei systematisch zusammengefasst und erweitert. Es lag nahe, ähnliches für den experimentellen Teil zu versuchen und das Bedürfnis dazu war ein um so größeres, als auch auf diesem Gebiete eine Fülle von Material vorlag, welches auch bereits in akademischen Vorlesungen überliefert wurde. So entstanden fast gleichzeitig die Lehrbücher von 's Gravesande, van Musschenbroek und Desaguiliers. Sie unterscheiden sich von den Sammelwerken der früheren Zeit nicht nur durch die größere Menge der überlieferten That- sachen, sondern hauptsächlich durch die völlig veränderte Stellung, welche das Experiment als Beweis- und Demonstrationsmittel angewiesen erhalten hat.

's Gravesande (1688—1742), von 1717—1742 Professor der Mathematik in Leiden, war wohl der erste, der das größte Gewicht auf die Herstellung von Demonstrationsapparaten legte. Er ließ solche in großer Anzahl von Jan van Musschenbroek, dem Neffen Samuels anfertigen und beschrieb und bildete sie in vorzüglichen Kupfern ab, welche eine Zierde seines Werkes *Physices Elementa mathematica experimentis confirmata sive Introductio ad Philosophiam Newtonianam* bilden, das in erster Auflage 1720, in zweiter 1725 und in dritter (unseren Nachbildungen zu Grunde gelegter) 1742 erschien. Die Apparate sind noch im physikalischen Kabinet zu Leiden in vorzüglicher Erhaltung vorhanden. Eine Anzahl Doubletten besitzt das Königliche Museum in Kassel, welche der Landgraf Karl von Hessen zur Zeit von Jan van Musschenbroek bezogen hat.

Die Arbeit Desaguiliers' hat den Titel: *A Cours of Experimental Philosophy* und erschien 1725 in London. Sie bringt eine Anzahl der Apparate 's Gravesandes, der ihrem Verfasser befreundet war. Hatte doch der holländische Physiker bei seinem Aufenthalte in London vielfach mit diesem zusammengearbeitet, hatte mit ihm, wie wir sahen, die Dampfmaschine Saverys dadurch verbessert¹⁾, dass sie anstatt zweier einen Cylinder erhielt. Desaguiliers hatte dann solche Maschinen gebaut, die

des 11. Bandes der Abhandlungen der schwedischen Akademie, wo indessen nach v. Oettingen (Ostwalds Klass. Nr. 57. S. 137) nur steht, dass die von Celsius, Strömer und Eekström verfertigten Thermometer jene Bezeichnung haben. Poggendorff (Pogg. Ann. 157. S. 351) hält van Swindens Ansicht für richtig.

1) Desaguiliers, *A cours of Experimental Philosophy*. Holländische Übersetzung. Bd. II. S. 108.

erste 1717 für den Garten Peters des Großen in Petersburg, ihre Beschreibung und die Schilderung ihrer Wirkung in sein Werk aufgenommen. Da er sich nun auch außerdem für Maschinen interessierte und solche ebenfalls in sein Buch aufnahm, so enthält sein Werk viel weniger Originalapparate, wie das 's Gravesandes.

Dasselbe gilt von dessen Kollegen an der Leidenschen Universität, von Pieter van Musschenbroek, dem Bruder Jans. Er hatte seinen Lehrstuhl von 1739 bis zu seinem Tode 1761 inne. Über seine Schriften soll weiter unten berichtet werden. Es war nicht zufällig, dass in den Niederlanden damals physikalische Lehrbücher in so reicher Zahl erschienen, denn das Interesse für die Physik war dort außerordentlich lebhaft. Eine Akademie hatte Holland zwar nicht anzuweisen, dafür aber eine große Anzahl Gesellschaften in fast allen größeren Städten, die sich die Pflege der Physik, namentlich auch durch Abhalten von Vorträgen, angelegen sein ließ¹⁾. Solche hatte Desagniliers mit großem Erfolge gehalten, und gerade diese hatten Musschenbroek zur Ansarbeitung der Beginsels angetrieben. Und nicht allein die reiche Entwicklung der Litteratur findet so ihre Erklärung, auch der Umstand, dass in den Niederlanden die erste wirkliche mechanische Werkstätte, eben die der Musschenbroeks entstand, deren Apparate die meisten anderen ihrer Zeit an Sauberkeit, Genauigkeit und Solidität übertrafen, erscheint als notwendige Folge jener Bestrebungen.

Wir wenden uns nun dazu, dieses und das vorher Gesagte durch Vorführung der von 's Gravesande stammenden Apparate des näheren darzuthun. Ihre Abbildungen dürfen wir dem 's Gravesandeschen Werke entnehmen, da die noch vorhandenen den ihm beigegebenen Kupfern völlig entsprechen. Wir begegnen in den Elementen der Physik einer Menge von Anordnungen zuerst, welche auch jetzt noch zum eisernen Bestande eines jeden noch so kleinen physikalischen Kabinetts gehören.

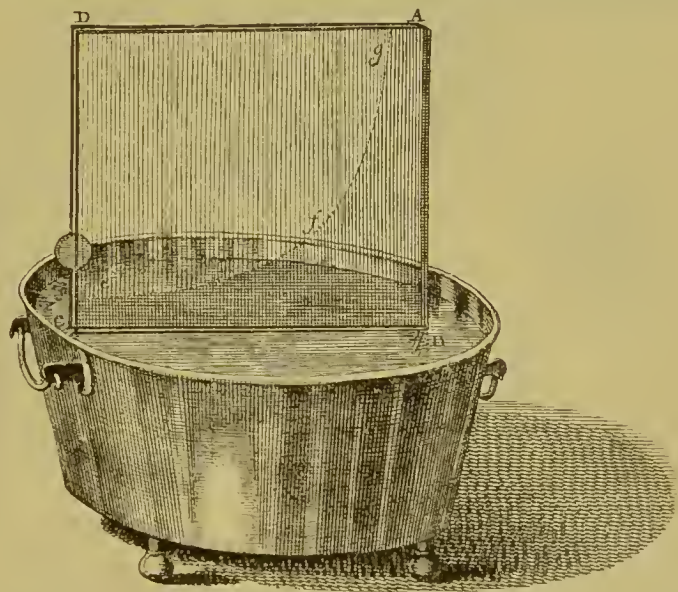


Fig. 283.

Fig. 283 und 284, S. 296, erläutern die Erscheinungen der Kapillarität, jene durch zwei

1) van Musschenbroek, Beginsels der Natuurkunde. Im Anfang der Vorrede.

Glasplatten mit keilförmigem Zwischenraum¹⁾, diese durch Anwendung eines kommunizierenden Rohres mit verschiedenen weiten Sehnenkeln.

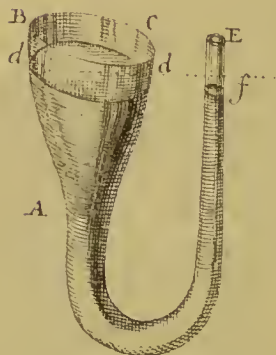


Fig. 254.

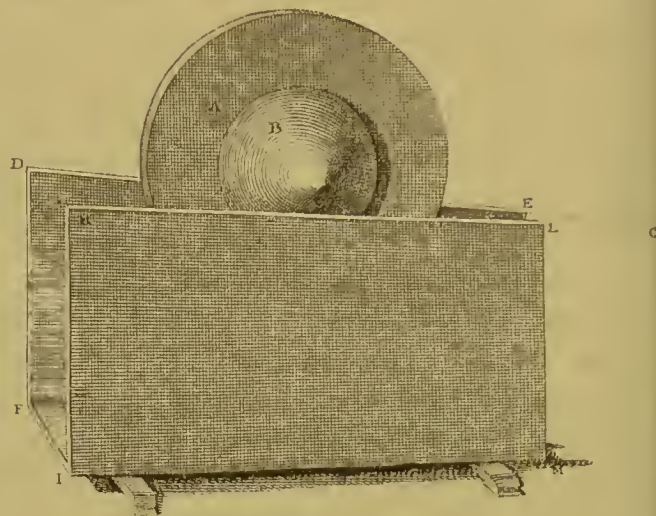


Fig. 255.

Den erstgenannten Versuch hatte zuerst 1713 Hawksbee²⁾ angestellt. 's Gravesande aber fand, dass die Kurve *efg* eine Hyperbel und wegen

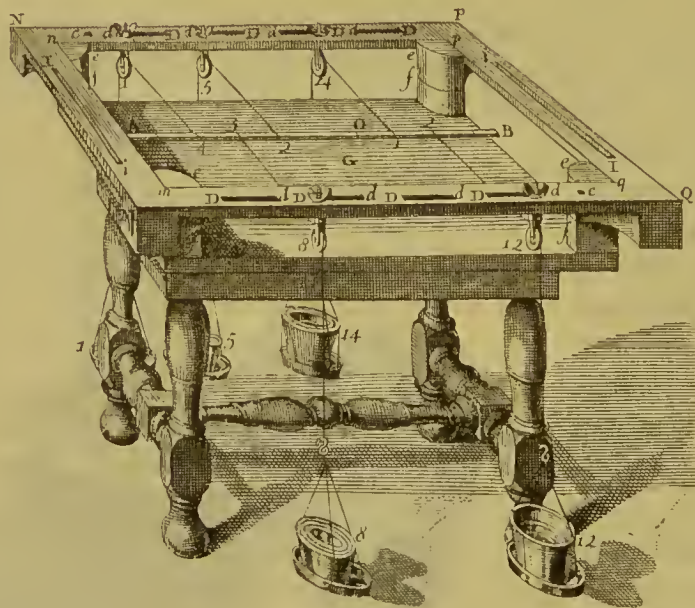


Fig. 256.

der rechteckigen Form der Platten eine gleichseitige Hyperbel ist. Fig. 285 zeigt den Kegel, welcher scheinbar den Berg hinaufrollt³⁾. Den

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 20 und 26.

2) Hawksbee, *Philosophical Transactions*. 1713. No. 355. S. 739.

3) 's Gravesande, a. a. O. S. 57.

Satz, dass für den Fall des Gleichgewichtes die Summe der statischen Momente Null sein muss, soll Fig. 286 beweisen. An den Rand $MNPQ$ des Tisches können Rollen angeschraubt werden, über welche die mit dem einen Ende an dem geteilten Stab AB befestigten, am anderen mit Wagschalen versehenen Schnüre gehen. Bei dem abgebildeten Versuche ist O der Mittelpunkt der Kräfte, nach Anweisung der beigesetzten Zahlen aber

$$+ 1.14 - 2.12 - 2.5 + 3.8 - 4.1 = 0.$$

Es findet also Gleichgewicht statt und der Stab AB kann gegen MQ oder NP in eine beliebige seiner ursprünglichen parallelen Lage gebracht werden, ohne dass es gestört wird. Vom Gewichte der Wagschalen, welches natürlich berücksichtigt werden muss, wenn der Versuch gelingen soll, ist freilich nicht die Rede.

Die Gleichgewichtsbedingungen am Keil sind mittels des in Fig. 287 abgebildeten Apparates zu prüfen. Mit der nach einem Kreisbogen geformten Schraube LL und den Muttern i kann der Winkel, den die bei E durch Scharniere verbundenen Holzplatten DD bilden, geändert werden. Die Holzplatten werden von den Rollen IG getragen, die sie aneinander zu drängen suchen; die Achsen der letzteren hängen an Schnüren und werden durch die Gewichte P , die an den Rollen T wirken, mittels der Schnüre m und n zusammengedrängt. Der Keil zieht das Gewicht Q herab, und seine Größe in Verbindung mit der der Gewichte P lässt die Gleichgewichtsbedingung anstellen. Das ganze wird von der auf dem Tische M befestigten Säule HIC , deren oberster und unterster Teil nur gezeichnet ist, getragen¹⁾.

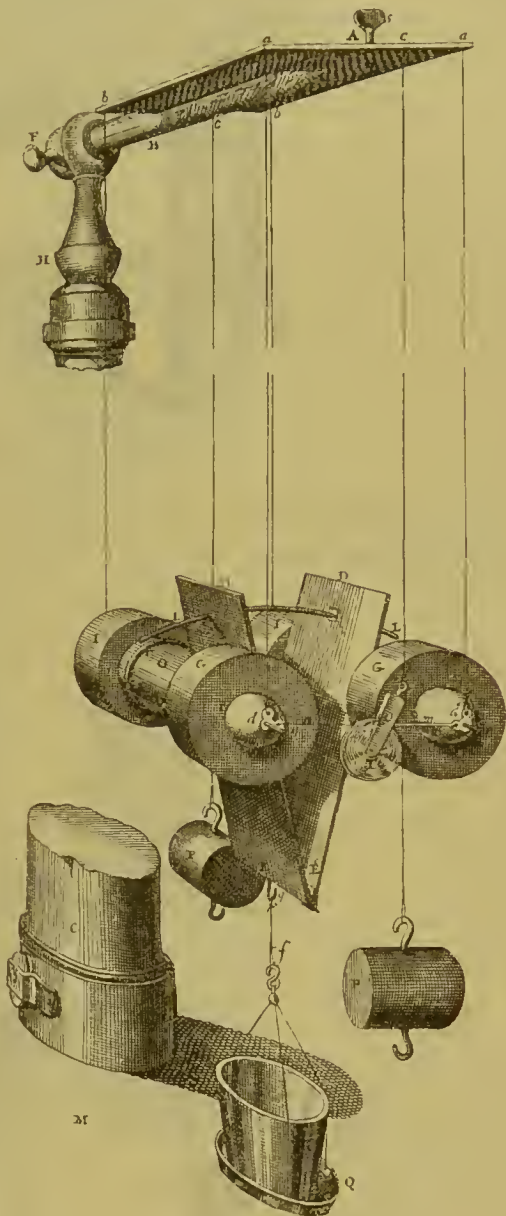


Fig. 287.

1) s Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 65.

Den Satz vom Parallelogramm der Kräfte bestätigt nach Anweisung von Fig. 288 ein zweiter Versuch mit dem bereits in Fig. 286 benutztem Tische¹⁾,

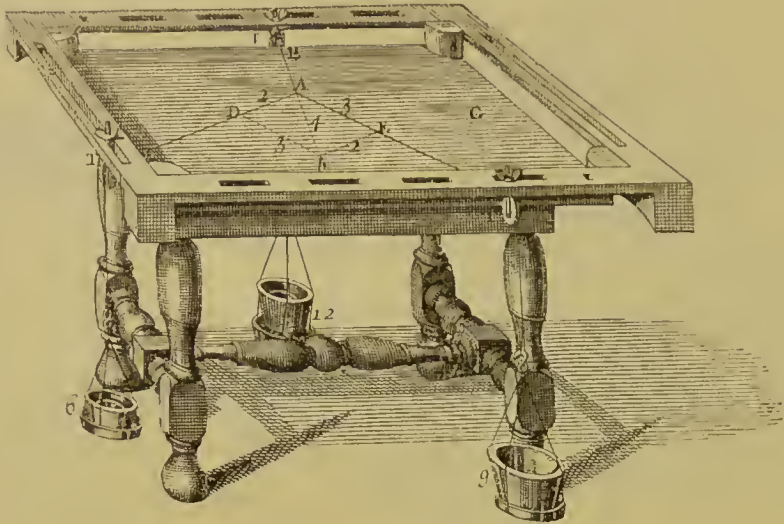


Fig. 288.

dessen Randmitten *Ii* (Fig. 286) nun auch benutzt werden, oder der Apparat, den Fig. 289 zeigt, wo die Nebenfigur die Ansicht von hinten giebt²⁾. Für

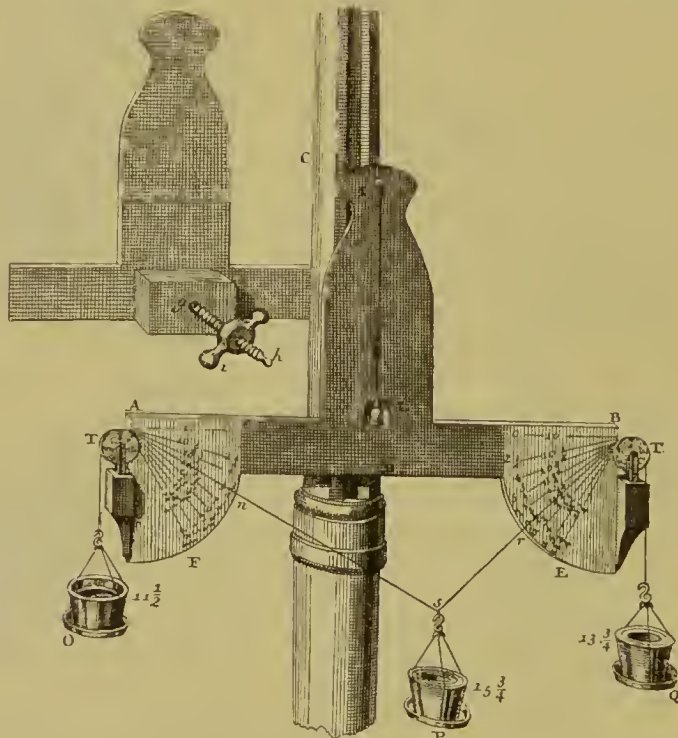


Fig. 289.

mehr als drei Kräfte lässt sich seine Richtigkeit mit dem Apparat (Fig. 290)

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 80.

2) 's Gravesande, *a. a. O.* T. I. S. 85.

nachweisen¹⁾. Dass ein eine horizontale Geschwindigkeit besitzender Körper, wenn er der Einwirkung der Schwerkraft ausgesetzt wird, eine Parabel

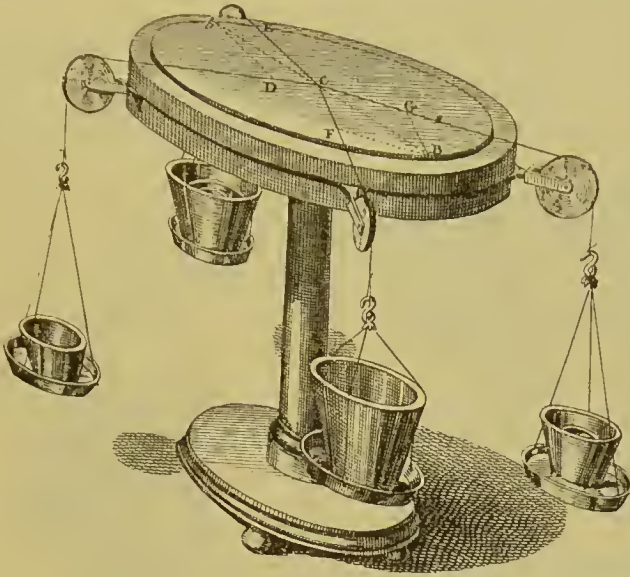


Fig. 290.

beschreibt, weist 's Gravesande mit dem in Fig. 291 abgebildeten Apparate nach²⁾. Seine etwas massig und kompliziert ausgefallene Centrifugalmaschine

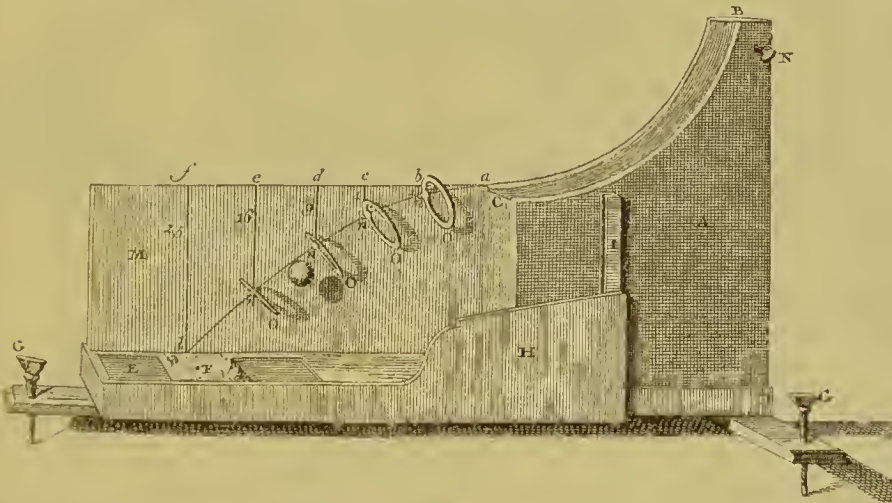


Fig. 291.

zeigt Fig. 292, S. 300. Zwei Objekte lassen sich gleichzeitig an ihr der Prüfung unterziehen, eine Anordnung die freilich, da sie nutzlos ist, später wieder fallen gelassen wurde. In ihren Einzelheiten ist sie aber so schön durchgebildet, das Arbeiten mit ihr erfolgt mit so großer Sicherheit, dass

1) 's Gravesande, *Physics Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 83.

2) 's Gravesande, a. a. O. T. I. S. 145.

sie wohl verdient, der Vergangenheit entrissen zu werden¹⁾. Auch die Stoßgesetze weist 's Gravesande eingehend auf experimentellem Wege nach. Doch müssen wir hier von der Darstellung der diesem Zwecke dienenden Apparate absehen.

Nicht geringere Sorgfalt hat der Leidener Professor auf die Apparate zur Demonstration des »hydrostatischen Paradoxons« verwendet. Dass die Versuche bei den neueren zu diesem Zwecke konstruierten Apparaten, welche

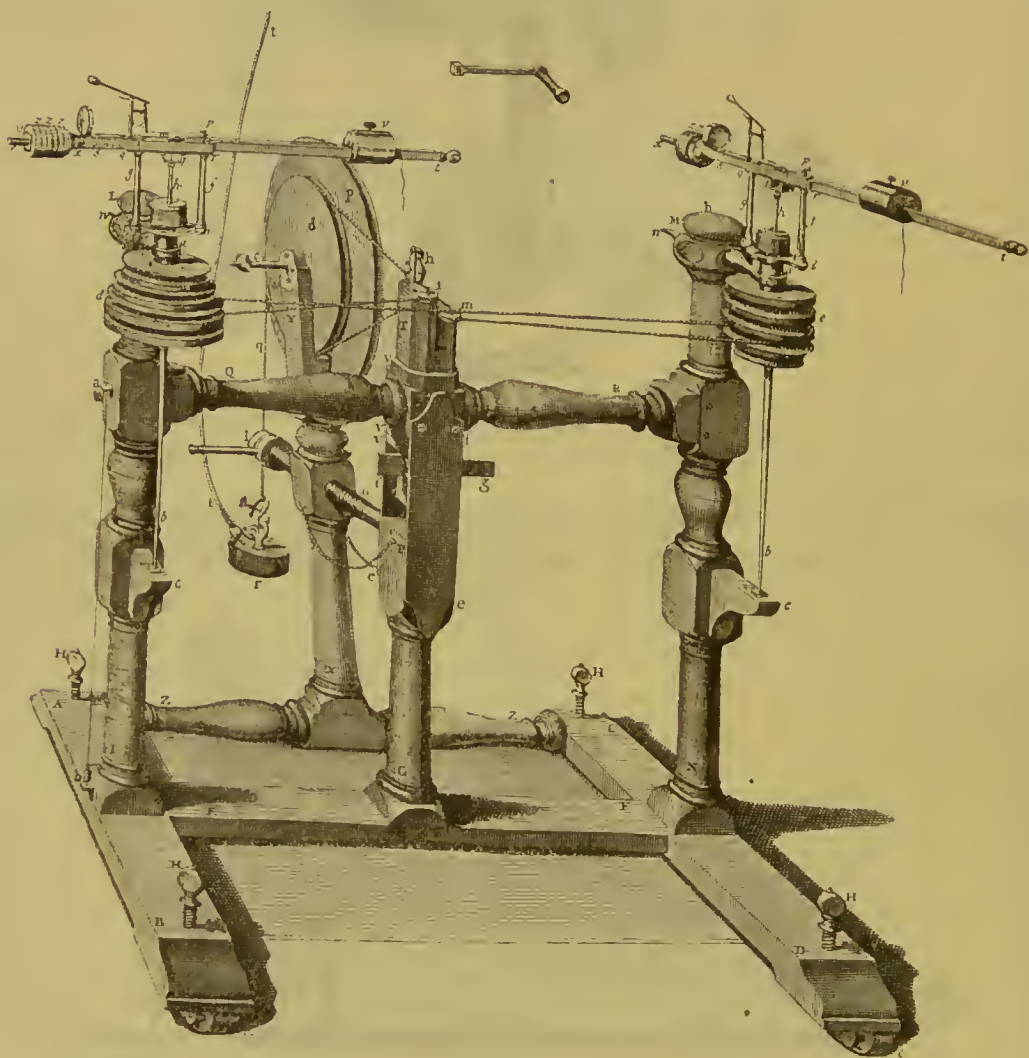


Fig. 292.

auf denselben Grundsätzen beruhen, so häufig misslingen, hat seinen Grund in der ungenügenden Dichtung oder der für das angewendete Wassergewicht zu großen Reibung. Beide Unzuträglichkeiten sind von 's Gravesande durch Anwendung möglichst großer Wassermengen vermieden worden²⁾. Fig. 293 und 294 zeigen den vollständigen Apparat mit den beiden verschiedenen Wassergefäßen *F* und *N*. Die Einrichtung des Ventils bei *A*

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 153.

2) 's Gravesande, *a. a. O.* T. I. S. 407 ff.

ist in ihren einzelnen Teilen in Fig. 295 angegeben. *A* ist ein sorgfältig ausgeschliffenes Messinggefäß, über welches der Arm *B* mit der Öffnung *m*

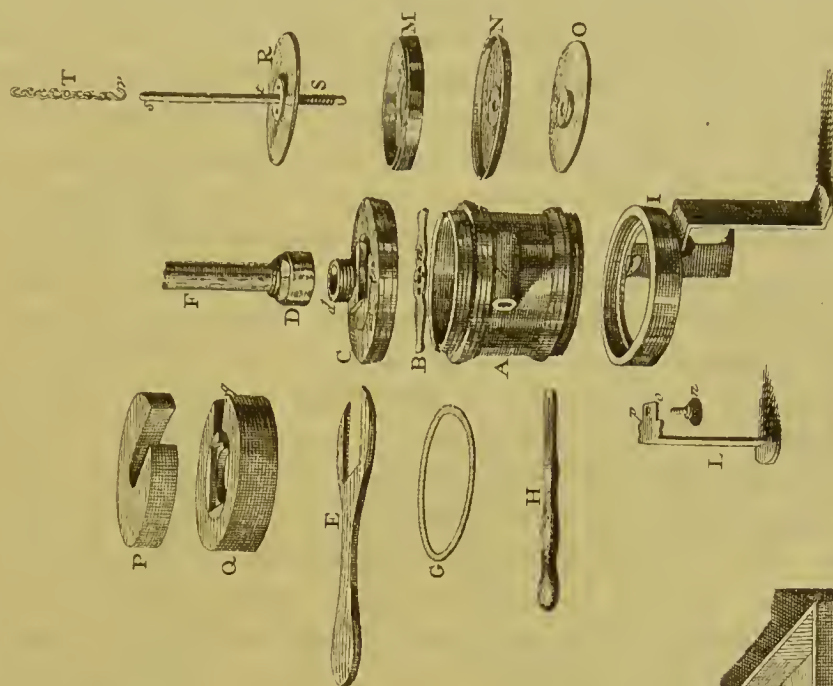


Fig. 295.

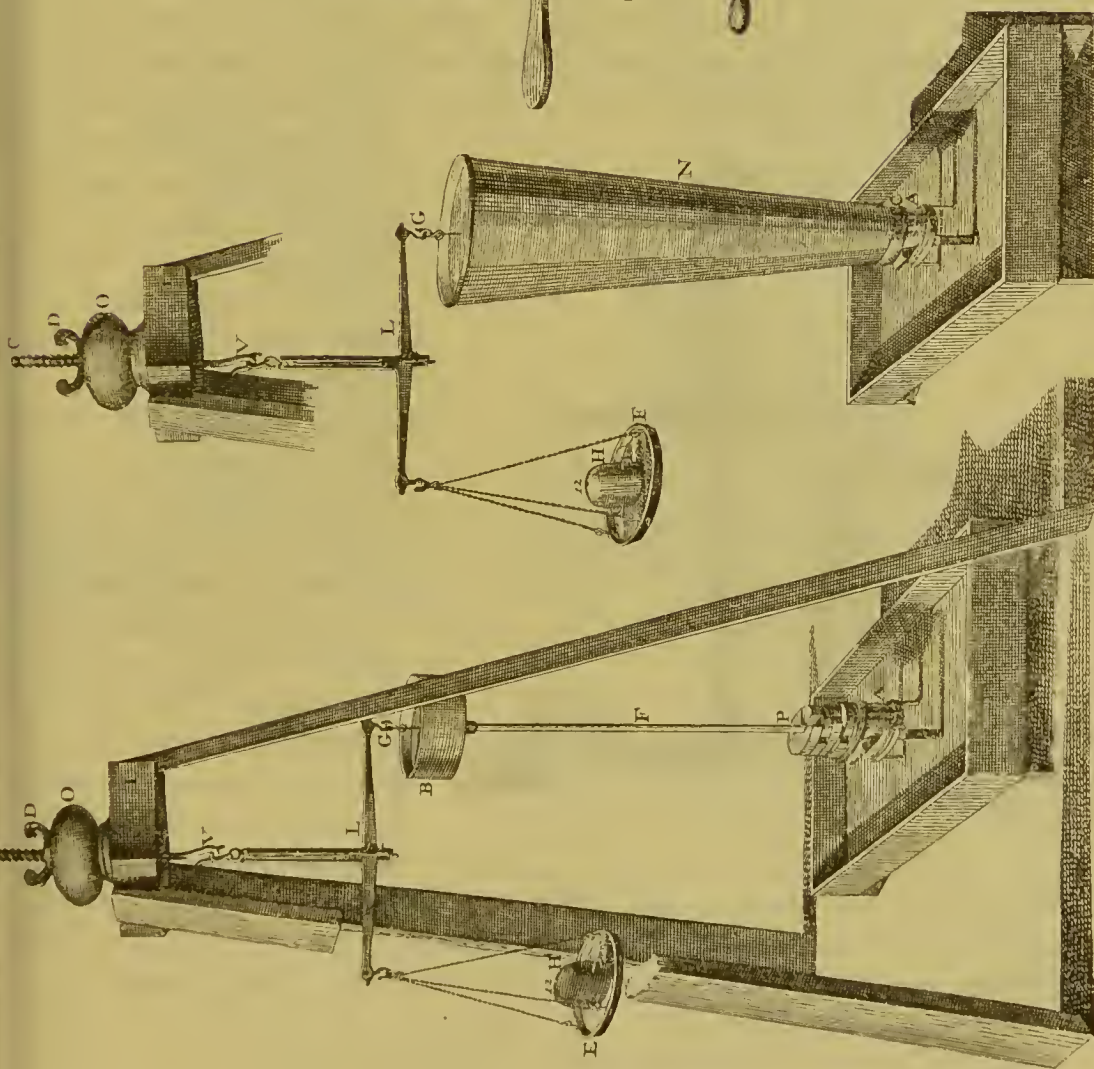


Fig. 294.

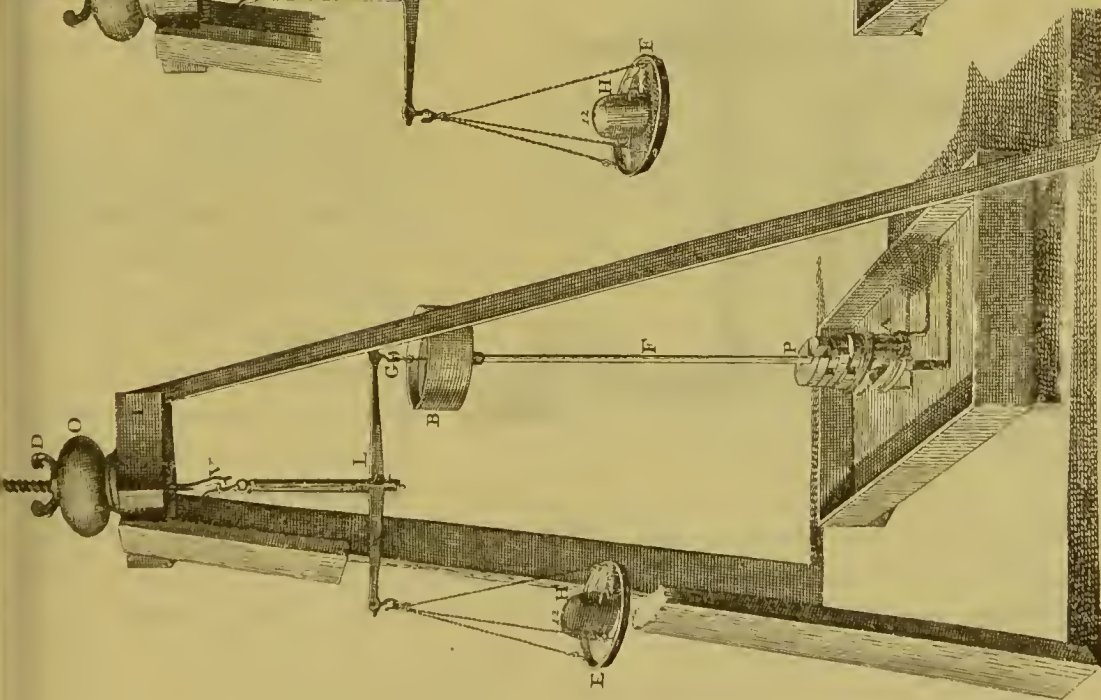


Fig. 293.

zur Aufnahme des cylindrischen Stabes *st* gelegt wird. Seine Enden passen in zwei Lücken des oberen Randes. Auf *A* wird der Deckel *C* geschraubt und durch einen dazwischen gelegten Lederring gedichtet. Das Aufschrauben geschieht mit Hilfe des Schraubenschlüssels *E*, der den viereckigen Aufsatz *e* auf *C* umfasst, während *A* durch den in *h* gesteckten Handgriff *H* festgehalten wird. Auf *C* wird das Rohr *F* oder dasjenige *N* (Fig. 292) aufgeschraubt, *A* aber ebenfalls durch Verschraubung auf den Dreifuß *I* befestigt. Gewichte *QP*, welche auf die auf *C* gebrachte Holzplatte geschoben werden, verhindern, dass *A* gehoben werden kann. Dafür ist aber die Möglichkeit dadurch gegeben, dass in *A* sich ein an der Kette *F* befindlicher Kolben oder ein daran befestigtes Ventil mit Reibung hin und her bewegen kann. Seine einzelnen Teile sind die Platte *R*, unter welche, nachdem die Lederscheibe *N* dazwischen gelegt ist, die andere *M* mit übergreifendem Rande geschoben und durch die Mutter *O* und Schraube *S* angepresst wird. Als Dichtungsmittel nahm 's Gravesande Kalbsleder, was einige Tage lang in Öl gelegt, dann ebensolange in Wasser maceriert wurde. Der Kolben wurde dann mehrmals im Cylinder *A* hin und her geschoben, so dass er leicht beweglich wurde, an den Wagebalken *LG* (Fig. 293) gehängt und äquilibrirt. Dann wurden soviel weitere Gewichte in die Wagschale *E* gebracht, als das Wasser wog, welches in das Gefäß

FB kam. Das nämliche Gewicht hielt auch das in *N* im Gleichgewicht, wenn dafür gesorgt wurde, dass es in beiden Fällen gleich hoch stand. Die Länge des Rohres *F* betrug 32 Zoll.

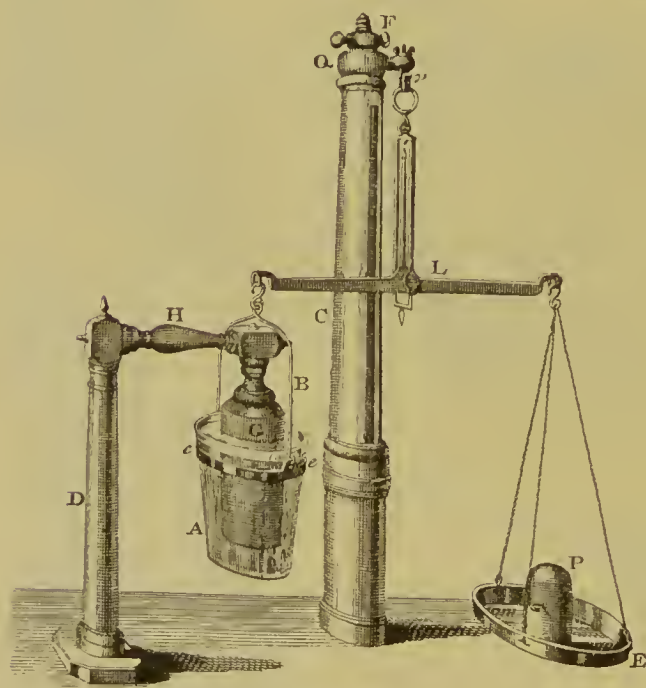


Fig. 296.

Der in Fig. 296 dargestellte Apparat dient zum Beweis, dass der Auftrieb gleich dem Bodendruck, dieser aber gleich dem Gewichte des von dem eingetauchten Körper verdrängten Wassers sei. Wurde¹⁾ der Holzcyylinder *G* in das mittels des Kupferinges *ee* an den einen Arm der Wage gehängten Gefäßes mit Wasser

getaucht und die Wage durch Auflegen des Gewichtes *P* zum Einspielen gebracht, so war sie nach Wegnahme von *G* wieder im Gleichgewichte, wenn der eingetaucht gewesene Teil von *G* durch Wasser ersetzt wurde.

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 412.

Den Nachweis für die Richtigkeit des Archimedischen Prinzips führte 's Gravesande in der nämlichen Weise, wie wir es jetzt auch noch thun. An eine Schale der Wage, Fig. 297, welche mit Hilfe des Gewichtes *P* und der das Joch *B* tragenden Schnüre in passender Höhe aufgestellt werden konnte, hing er den hohlen Messingcylinder *N*, in den der massive, darunter angebrachte Cylinder *R* genau eingeschliffen worden war, brachte die Wage mittels der Gewichte *X* ins Gleichgewicht und tauchte dann *R* in ein Gefäß mit Wasser. Das gestörte Gleichgewicht wurde dadurch wieder hergestellt, dass *N* voll Wasser gegossen wurde ¹⁾.

Die Größe des Auftriebs zeigte 's Gravesande mit Hilfe des in Fig. 298 dargestellten Apparates, also

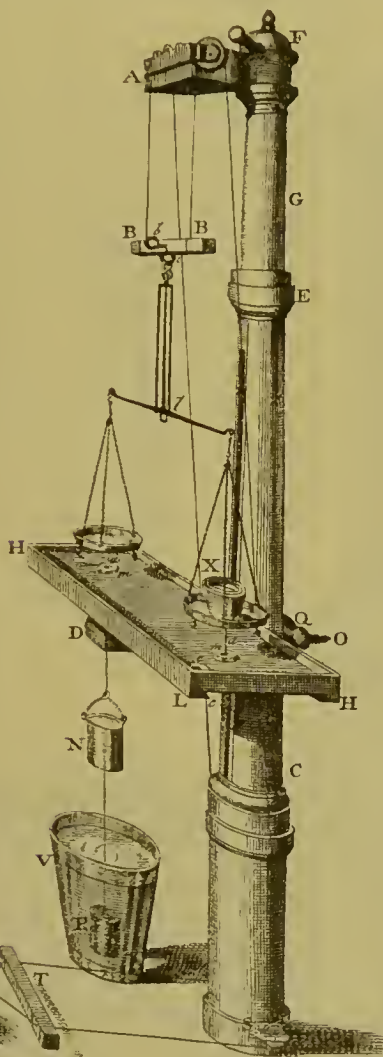


Fig. 297.

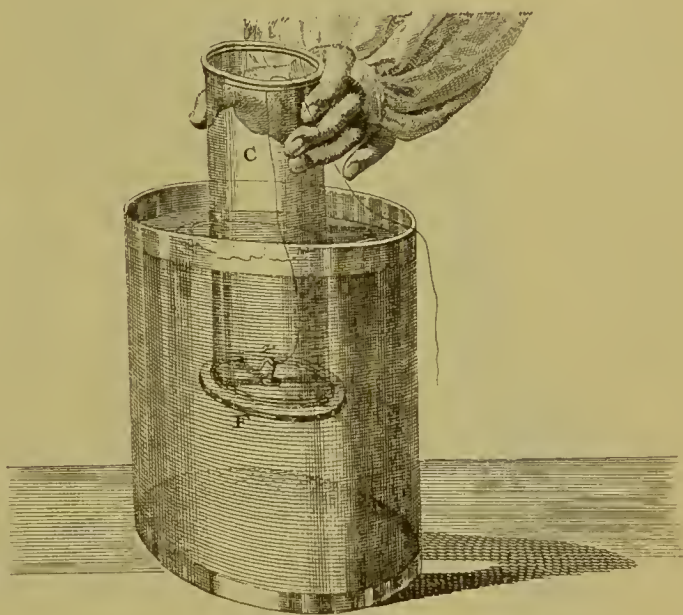


Fig. 298.

auch genau in derselben Weise, wie dies auch jetzt noch geschieht²⁾. Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten bediente sich damals Hawksbee³⁾ bereits des nämlichen Apparates, den in wenig veränderter Form der Chemiker auch jetzt noch zu diesem Zwecke benutzt.

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. I. S. 424.

2) 's Gravesande, a. a. O. T. I. S. 426.

3) Leupold, *Theatrum machinarum hydrotechnicarum*. 1724. S. 33. Tab. II. Fig. XIV.

Er hing an das Häkchen unter der einen an kurzen Schnüren hängenden Wagschale einer gewöhnlichen Wage eine Schrot enthaltende geschlossene Glaskugel und ließ sie in die zu untersuchende Flüssigkeit tauchen. Dass die Wagen damals aber bereits recht vollkommen waren, beweist die Beschreibung der einzelnen Teile der damals gebräuchlichen, wie sie Leutmann¹⁾ (1667—1736) giebt.

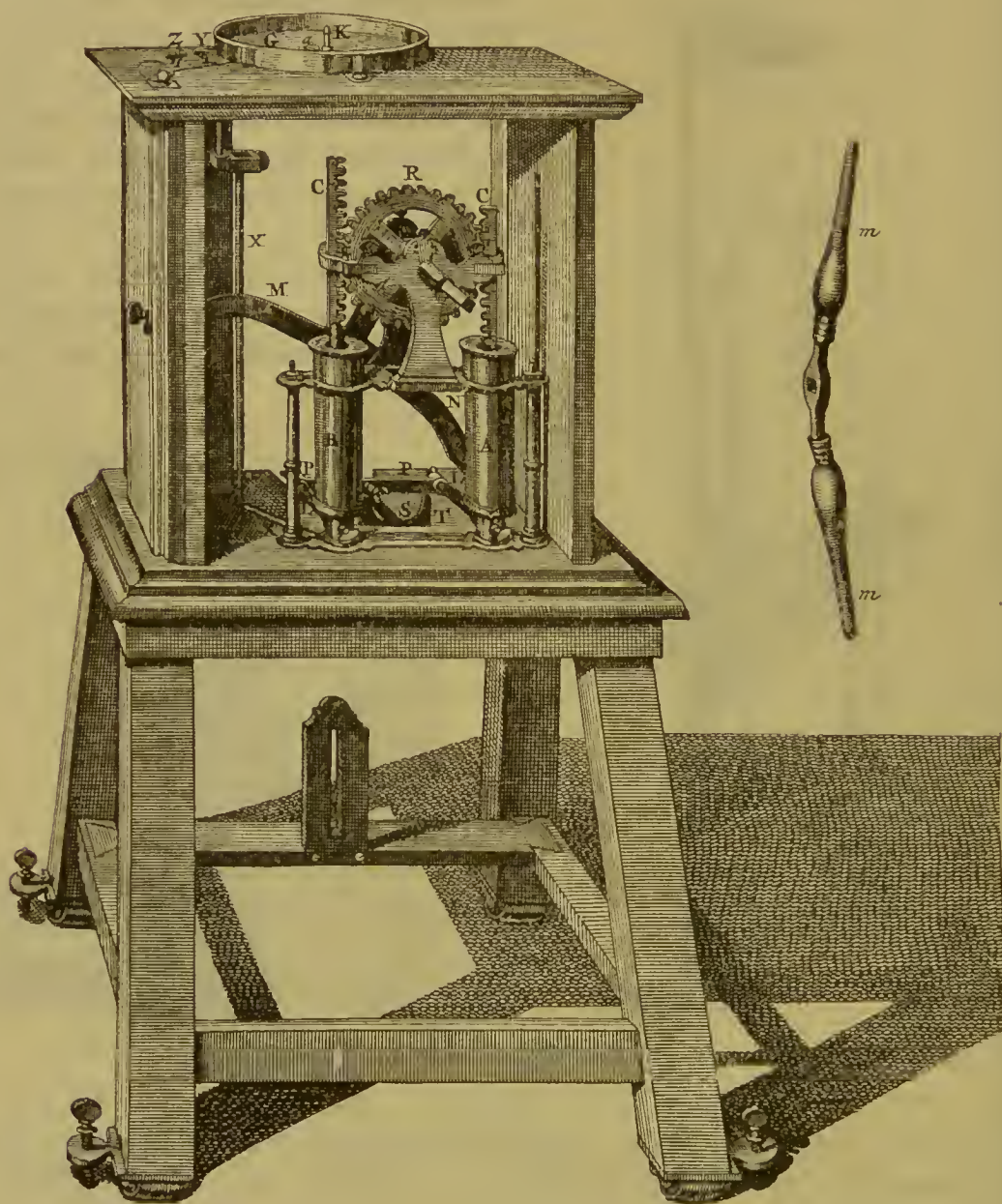


Fig. 299.

's Gravesandes Luftpumpe, welche in Fig. 299 vorgeführt wird, ist eine zweistiefige Hahnluftpumpe, deren beide mit Zähnen versehene Kolbenstangen von einem Getriebe aus bewegt werden. Auf der Achse

1) Leutmann, Commentarii Petropolitani II. 1727.

des Getriebes sitzt das \perp förmige Stück, welches, sich mit der Kurbelachse hin und her bewegend, die doppelt durchbohrten Hähne hin und her wirft, so dass sie mit dem Auf- und Niedergehen des Kolbens zugleich richtig gestellt werden ¹⁾. Sie wurde in entsprechend abgeänderter Weise auch mit einem Stiefel hergestellt und bedeutet, was die Bequemlichkeit und die Solidität der Arbeit anlangt, gegen die früheren einen bedeutenden Fortschritt ²⁾.

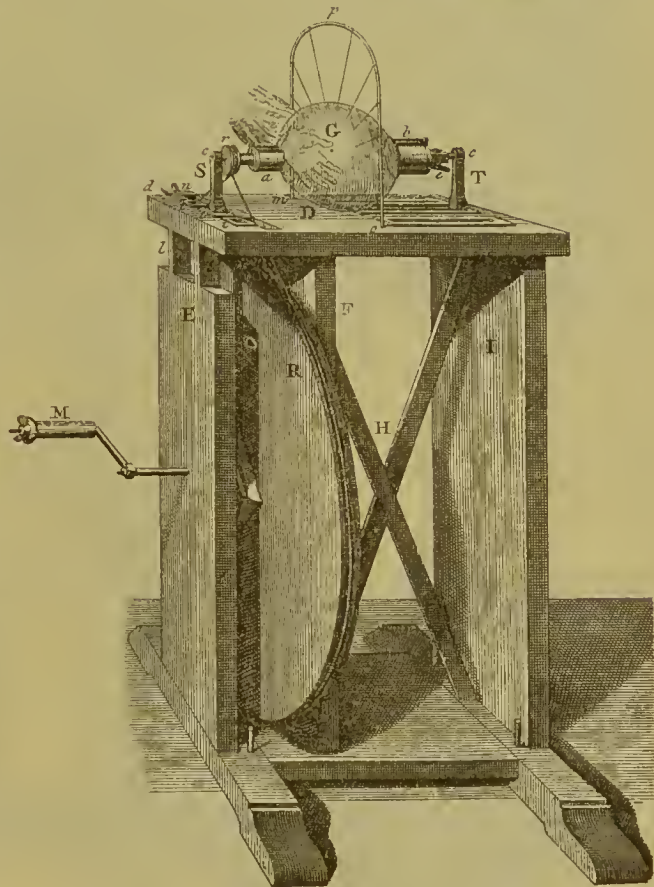
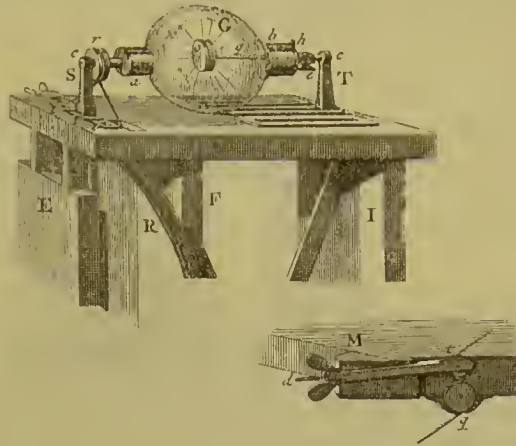


Fig. 300.

im Innern an einer sich mit der Kugel drehenden Scheibe sitzenden Fäden

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. II. S. 589.

2) Sie wurde von Jan van Mussehenbroek in einer besonderen Schrift: *Beschryving der nieuwe Soorten van Luchtpompen, zoo dubbelde als enkelde, Leyden beschreven und abgebildet*, wobei der Mechaniker sie ausdrücklich eine Erfindung 's Gravesandes nennt.

3) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 661.

4) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 663.

gegen sie richten¹⁾. Fig. 301 sollte die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit der Körper erkennen lassen. *A* ist ein Holzcylinder, *B* ein solcher aus

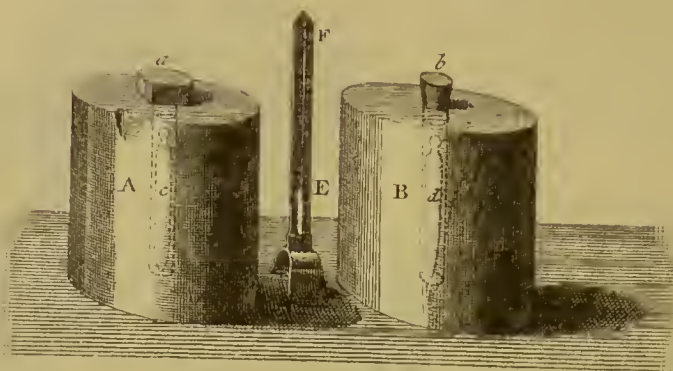


Fig. 301.

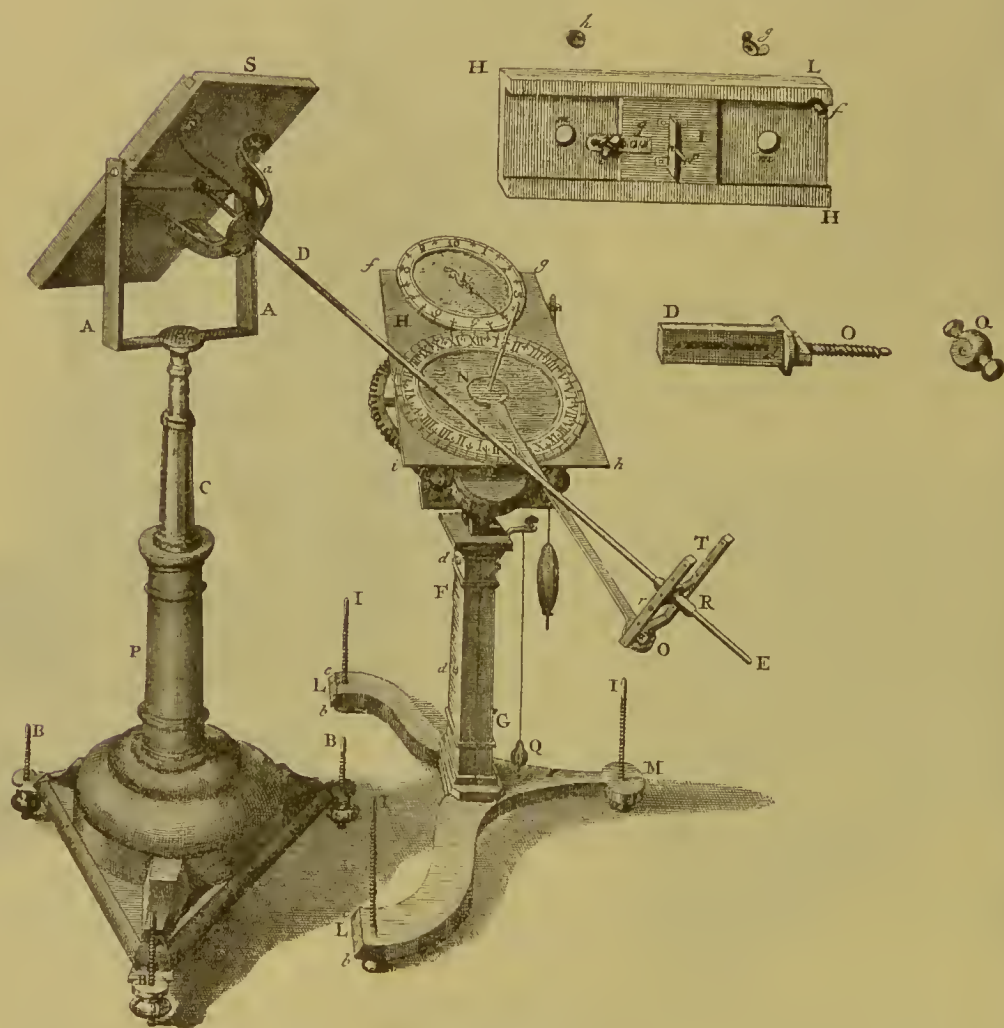


Fig. 302.

Marmor, in beide sind Löcher gebohrt und in diese zwei Thermometer *c* und *d* gesetzt, während ein drittes Thermometer *EF* die Lufttemperatur

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. II. S. 669.

angiebt. Ihren Schwankungen folgt d viel rascher wie e . EF ist das S. 247 erwähnte, von Fahrenheit verfertigte Instrument¹⁾.

Den Schluss des 's Gravesandeschen Werkes bildet die Optik. Seinen noch jetzt sehr brauchbaren Heliostat zeigt Fig. 302. Die der Erdachse parallele Achse des Armes NO dreht die Welle DE , diese den Spiegel, der sich zugleich um die Achse aa drehen muss²⁾. Mit Hilfe des Heliostaten stellte der Leidener Professor im Dunkelzimmer die in damaliger Zeit üblichen Versuche an. Fig. 303 giebt die Art wieder, wie er die

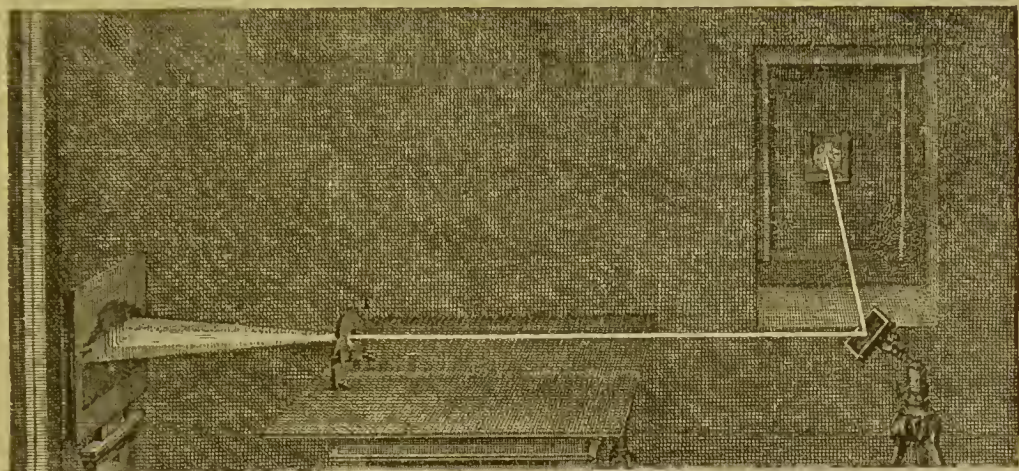


Fig. 303.

Beugung des Lichtes nachwies. Die Schneiden des zweiten Spaltes T können mittels der Schrauben I genähert und wieder von einander entfernt werden³⁾.

Auch der Gang der durch Linsen gesammelten und zerstreuten Strahlen, der Lichtstrahlen in Fernröhren u. s. w. wurde im Dunkelzimmer gezeigt. Die Linsen befanden sich in Glas-
kästen, wie dies aus Fig. 304 ersichtlich ist, welche die Art darstellt, die Wirkung einer Sammellinse zu zeigen⁴⁾. Dass 's Gravesande Newtons Ver-
suche wiederholte, bedarf wohl

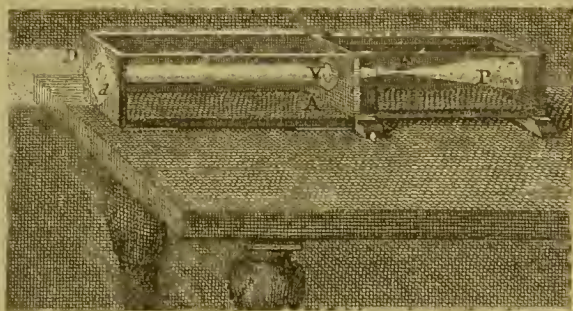


Fig. 304.

kaum der Erwähnung. In Fig. 305, S. 308, sei nur noch die Art, wie er den Regenbogen experimentell darstellte, vorgeführt⁵⁾.

1) 's Gravesande, *Physices Elementa*. 3. Ed. T. II. S. 682.

2) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 731.

3) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 728.

4) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 763.

5) 's Gravesande, a. a. O. T. II. S. 915.

2. Desagniliers und Pieter van Mnschenbroek.

Wir haben bereits darauf hingewiesen, dass im Gegensatze zu dem Werke 's Gravesandes, das von Desagniliers viel weniger Originalapparate enthält, dafür aber ausführlicher auf die technischen Anwendungen

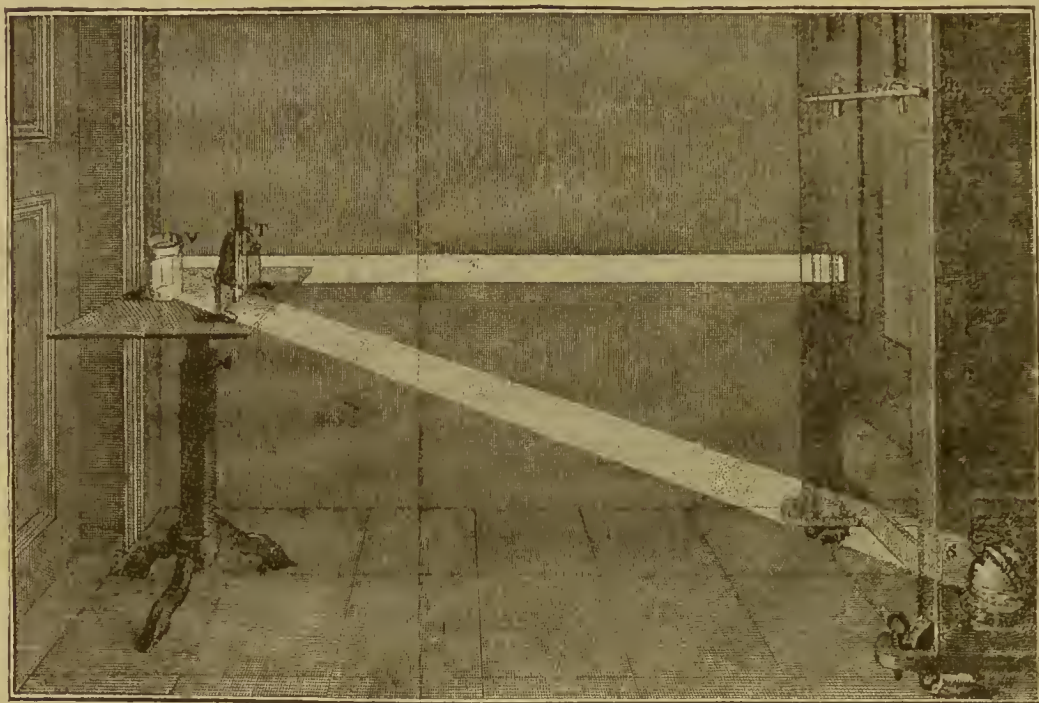


Fig. 305.

der Physik eingeht, von denen 's Gravesande nicht redet. Es ist von Interesse, den Fortschritten nachzugehen, die diese seit Papins Arbeiten anweisen oder vielmehr — und Nichts lässt mehr erkennen, wie unbekannt sie den Zeitgenossen geblieben waren — nicht aufweisen.

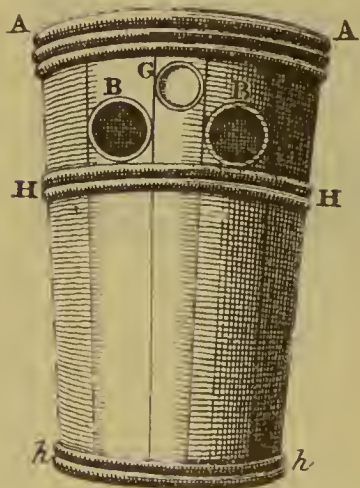


Fig. 306.

Dem Papinsehen Taucherschiffe ähnlich ist der in Fig. 306 dargestellte Apparat, den in den ersten Jahren des 18. Jahrhunderts der Kapitän Rowe konstruiert hatte, um die in einigen Wracks an der schottischen Küste noch vorhandenen Güter zu bergen. Es ist eine Tonne *Ah* mit zwei Öffnungen *BB*, aus denen der Arbeitende seine mittels lederner Ärmel wasserdicht abgeschlossenen Hände herausstreckte, während ein vor seinem Gesichte befindliches Glasfenster *G*, von dem er den durch

seinen Atem hervorgerufenen Beschlag mit der Nase abwischen musste, ihm den Meeresboden zu beobachten erlaubte. Die Tonne hing, wie dies Fig. 307

zeigt, an zwei Tauen *C* und *D* und war mit dem sie tragenden Schiffe durch eine Leine *BL* verbunden, mit deren Hilfe der Arbeitende Signale geben konnte. Der Rauminhalt der Tonne war der eines Oxhofs, die sie erfüllende Luft wurde mit dem Taucher abgeschlossen und es sollte dieser damit, wie Desaguiliers meint, eine ganze Stunde unter Wasser anhalten können¹⁾. Daran war natürlich nicht zu denken, und so stand dieser Vorschlag weit hinter dem in Papins Taucherschiffe verwirklichten zurück.

Den offenbaren Fehler, der in dem Mangel an Lufterneuerung lag, vermied Halley (1656—1714) bei der Ausführung seiner Taucherglocke, die in Fig. 308 dargestellt ist²⁾. Der glockenförmige Apparat hat inwendig eine Bank, welche das von unten eindringende Wasser, da er mit Luft ge-

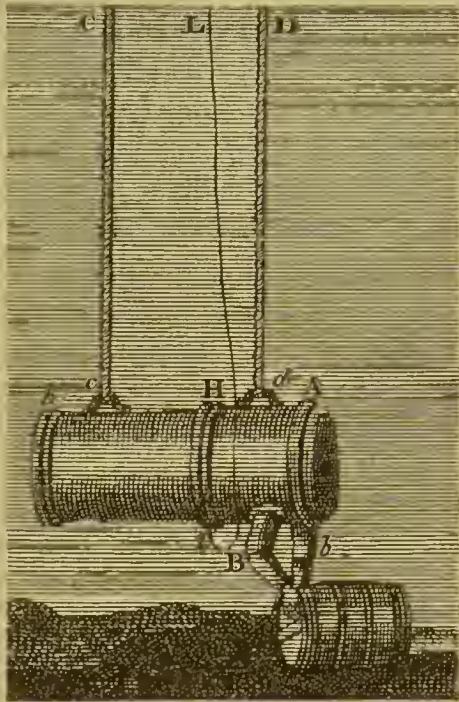


Fig. 307.

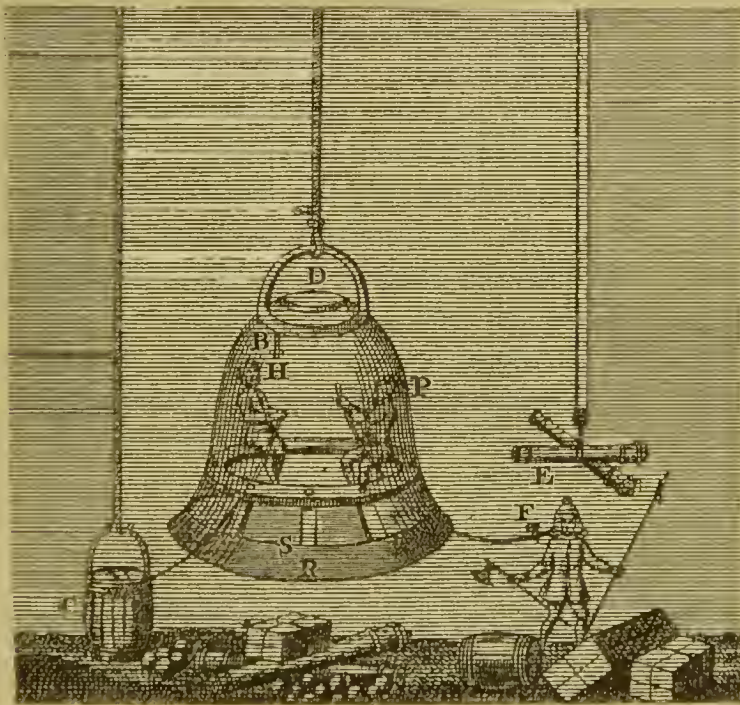


Fig. 308.

füllt ist, nicht erreichen kann. Bei *D* ist eine Glasplatte eingesetzt,

1) Desaguiliers, a. a. O. Vol. II. S. 269.

2) Desaguiliers, a. a. O. Vol. II. S. 270.

durch welche bei ruhiger See reichlich Licht in die Glocke fällt. Neben der Glocke befindet sich ein unten offenes Oxhottfass *C*, welches, abwechselnd angezogen und, wieder mit frischer Luft gefüllt, herabgelassen wird. Damit diese in die Glocke eindringen kann, lässt man einen Teil der in ihr vorhandenen verbrauchten Luft vorher durch den Hahn *B* entweichen. Ein Taucher kann von der Glocke aus sich auf den Meeresboden begeben; er erhält dann Luft aus der Glocke mittels eines Schlauches, welcher unter eine wasserdicht schließende Haube führt. Aus ihr kann er Luft herauslassen, neue aus der Glocke hereinziehen. Bei einer Länge von 50 bis 100 Yards gab Halley diesem Schlauche eine Weite von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll. Gegen den Wasserdruck hielt ihn ein eingelegter Spiraldraht aus Messing offen. Der Schlauch bestand aus gegerbtem Leder und wurde durch übergezogene Schafdärme dicht gemacht. Wollten die Insassen der Glocke Mitteilungen zu der Bemannung des sie tragenden Schiffes gelangen lassen, so ritzten sie solche mit einem eisernen Griffel in eine Bleiplatte, welche sie auf die Tonne *C* legten. Von oben erhielten sie auf dieselbe Weise Nachrichten, die durch Hämmern der Platte leicht wieder verwischt werden konnten, um für andere Raum zu schaffen. Gefundene Gegenstände wurden an Tauen, wie dies bei *E* zu sehen ist, emporgezogen.

Aber auch einen Taucheranzug, wie sie neuerdings, freilich in vollkommenerer Form, verwendet werden, hatte man damals bereits im Gebrauche. Ihn zeigt Fig. 309. Er bestand ¹⁾ aus einem aus zwei Stücken zusammengesetzten kupfernen Harnisch mit zwei kleineren Öffnungen *B* zum Durchstecken der Arme, und einer größeren *F*, durch die die Beine heraustraten. Arme und Beine steckten in ledernen Hülssen, die an den Ringen *B* und *F* befestigt wurden. Vor dem Gesichte befand sich eine nach außen gewölbte Glasplatte *G*. Zu beiden Seiten des den Kopf bergenden Theiles des Harnisches waren Messingröhrchen angebracht und an diese Schläuche angeschraubt, die an der freien Luft mündeten. Mittels eines Taus gab der Taucher Zeichen, doch konnten diese Harnische nur bei geringer Tiefe verwendet werden; in größerer wurde der Druck, den der Taucher, und namentlich seine Beine auszuhalten hatten, zu groß. Da aber die Stellen, an denen die Wracks lagen, meist geringe Tiefe hatten, so konnten diese Anzüge häufig benutzt werden. So wurden um 1700, wie Desaguiliers hörte, vierzehn Berechtigungen zur Herstellung solcher erteilt.

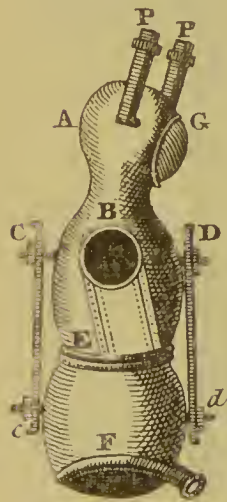


Fig. 309.

Allen diesen Konstruktionen muss der Vorwurf gemacht werden, dass für eine gesicherte Luftzuführung nicht gesorgt war. Hätten ihre Verfer-

1) Desaguiliers. a. a. O. Vol. II. S. 269..

tiger Papins Arbeiten gekannt, so hätten sie, sollte man meinen, dafür gesorgt, die Luft mit Hilfe von Druck- oder Centrifugalpumpen ab- und zuzuführen, um so mehr, als Desaguiliers selbst Centrifugalpumpen für den technischen Gebrauch baute, freilich ohne dass er Papin als deren Erfinder genannt hätte¹⁾. Das von Triewald²⁾ in die Glocke gelegte spiralförmige Rohr, aus der der Taucher die Luft einatmen soll, während er sie in die Glocke ausatmet, konnte zwar die Luft in Cirkulation bringen, doch in so geringem Maße, dass die so erreichte Verbesserung von nur geringer Bedeutung war.

Auf Desaguiliers' Beschreibung der Dampfmaschinen und die Verbesserungen, die er an ihnen anbrachte, einzugehen, haben wir bereits Gelegenheit genommen³⁾.

Pieter van Musschenbroek hat drei Lehrbücher geschrieben; das erste in lateinischer Sprache 1734 unter dem Titel: *Elementa physices* veröffentlichte war zum Gebrauche seiner Zuhörer bestimmt. Bei der ausgebreiteten Beschäftigung mit der Physik seitens vieler Liebhaber, die des Lateinischen nicht mächtig waren, wurde er vielfach angegangen, es ins Holländische zu übersetzen. Dazu hatte er freilich keine große Neigung, und er entschloss sich erst dann dazu, auf diese Wünsche einzugehen, als er gewärtig sein musste, dass andere einzelne Abschnitte seines Buches übersetzten und veröffentlichten. So unternahm er die Herausgabe seiner *Beginnels der Natuurkunde*, welche 1739 in Leiden erschienen⁴⁾. Später verfasste er noch ein ausführliches Lehrbuch in lateinischer Sprache, die *Introductio ad Philosophiam naturalem*, die aber erst 1762, ein Jahr nach seinem Tode, von Lulofs herausgegeben wurde.

Geben uns so die Lehrbücher vom Anfange des vorigen Jahrhunderts einen Überblick über den Umfang der damaligen Physik, so lassen sie uns auch erkennen, welch' ein ausgebreitetes Interesse, namentlich auch in Laienkreisen, unserer Wissenschaft entgegengebracht wurde. Dieses kam der aufblühenden mechanischen Kunst zu gute, die, wie wir sahen, Dank den Arbeiten der Musschenbroeks wohl am weitesten in Holland, nächst dem in England, fortgeschritten war. Aber auch die Pariser Werkstätten, sowie die von Leupold in Leipzig leisteten Tüchtiges.

's Gravesande hatte sich damit begnügt, Apparate zur Erläuterung des vorhandenen Wissenschatzes zu erdenken, Desaguiliers und Pieter van Musschenbroek stellten außerdem auch Versuche zu seiner Erweiterung an. In demselben Sinne waren eine Reihe anderer Forscher thätig, deren Arbeiten wir nun kennen lernen müssen. Wir werden am besten zuerst die den Fortschritten in Mechanik und Wärme dienenden, dann die meteorologischen

1) Desaguiliers, *Philosophical Transactions*. 1735. No. 437. S. 41 und No. 463. S. 65.

2) Desaguiliers, *A Cours of experimental Philosophy etc.* V. II. S. 278.

3) Desaguiliers, a. a. O. T. III. S. 80 ff.

4) Musschenbroek, *Beginnels etc.* Voorreden.

und optischen betrachten, um endlich auf das Hauptarbeitsfeld des vorigen Jahrhunderts, auf das Gebiet der elektrischen Erscheinungen einzugehen.

Mechanik und Wärmelehre um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

So schön die 's Gravesandesche Luftpumpe erdacht, so solide ihre

Ausführung durch Jan van Musschenbroek auch war, so ist sie doch wohl nur wenig verwendet worden. Ja, es ist die Frage, ob außer den im physikalischen Kabinett zu Leiden und dem Königlichen Museum zu Kassel noch vorhandenen andere hergestellt worden sind. Beliebter war die Senguerdsche Konstruktion, welche gleichfalls die

Musschenbroeksche Werkstatt lieferte. Noch häufiger aber dürfte die von Hawksbee¹⁾ angegebene Luftpumpe gefertigt worden sein, welche in Fig. 310 abgebildet worden ist. Sie bot große Bequemlichkeit durch die Art, wie der Teller *l* und die Barometerprobe *lm* angebracht waren. Wie Papins letzte Konstruktion war sie eine Ventil-luftpumpe und die Anordnung der Stiefel war die nämliche wie bei der genannten oder der 's Gravesandeschen.

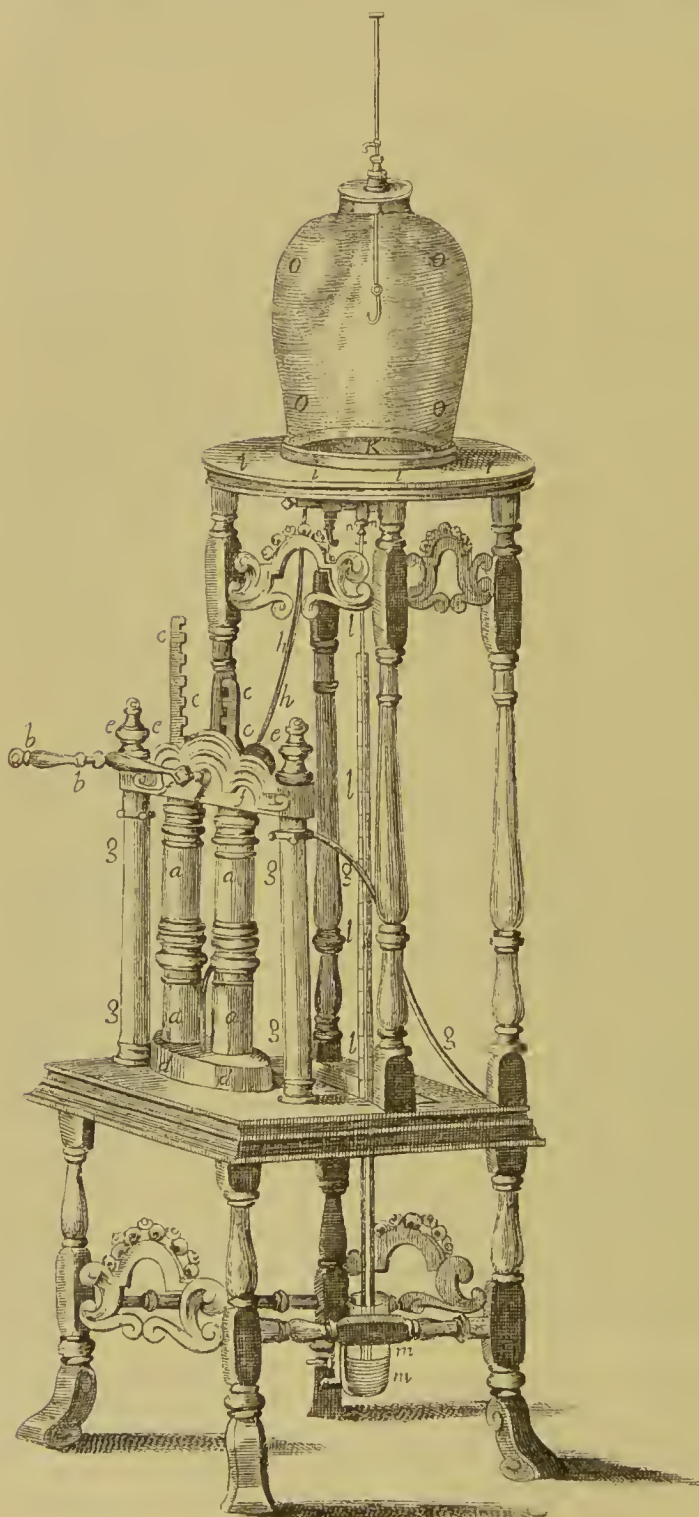


Fig. 310.

1) Hawksbee. *Experimenta physico-mechanica*. Londini 1709.

Mit dieser Luftpumpe hat Hawksbee seine mannigfaltigen Versuche angestellt, von denen wir nur den durch Fig. 311 erläuterten erwähnen. Es war der Versuch, der zuerst das Leuchten des im luftleeren Raume auf Glas fallenden Quecksilbers zeigte. Aus dem oberhalb des Rezipienten angebrachten kleinen Gefäße fiel es heraus und auf das in ihm aufgestellte, oben geschlossene weite Glasrohr, von da dann in leuchtenden Tropfen herab.

Lenpold¹⁾ bot die Hawksbeesche Luftpumpe seit 1713 an; doch baute er auch Senguerdsche Maschinen²⁾. Im Laufe der Zeiten blieb die erstere ungeändert, nur brachte Smeaton³⁾ (1724—1792) im Jahre 1752 einen Hahn an ihr an, dessen Drehung sie auch als Kompressionspumpe zu benutzen gestattete. Aber auch die älteren Konstruktionen blieben noch länger im Gebrauche, wie denn noch 1740 Nollet⁴⁾ (1700—1770) sich einer Papinschen Luftpumpe letzter Konstruktion bediente, als er das Auftreten des Nebels im Rezipienten beim Beginne des Pumpens zu erklären suchte. Man glaubte damals in dem zur Dichtung der Kolben u. s. w. verwendeten weichen Leder die Ursache der Erscheinung sehen zu müssen. Nollet war anderer Ansicht. »Die frisch eingeschlossene Luft«, meint er⁵⁾, »muss wie eine Probe der Atmosphäre betrachtet werden; die Masse, von der sie ein Teil ist, ist durchaus kein einfacher Körper, sie ist bekanntlich ein mit fremden Teilen beladenes Fluidum, die sich in ihm im Verhältnisse seines Volumens befinden. Die kleinen fremden Körperchen, welche ich als die nächste Ursache des Staubes betrachte, sind also in dem Rezipienten vorhanden«. Nollet sah also als Träger des Niederschlages, den er freilich in wenig bestimmter Weise als Ursache des Staubes ansieht, die Luft selbst an und beseitigte die Annahme vom Einflusse des Leders.



Fig. 311.

Ein anderer Versuch, den Nollet⁶⁾ ausführte, beweist uns, dass Newtons Verzicht auf jede Erklärung der Schwerkraft keineswegs allgemein angenommen war. Um die Widersprüche, welche Cartesius' und Huygens' Erklärungen dieser Kraft ergaben, zu beseitigen, hatte Buffon die Hypothese aufgestellt, dass die zu ihrer Erklärung herangezogenen Wirbel nur Bewegungen um zwei zueinander senkrechte Achsen, die eine ein Äquatordurchmesser, die andere die Verbindungslinie der Pole

1) Leupold, Acta Eruditorum. 1713. S. 95.

2) Cöster und Gerland, Beschreibung der astr., geod., physik. Apparate. S. 41.

3) Smeaton, Philosophical Transactions. 1752. Vol. 47. S. 415.

4) Nollet, Mémoires de l'Acad. Française. Paris 1740. S. 385.

5) Nollet, a. a. O. S. 243.

6) Nollet, Leçons de Physique expérimentale. Paris 1743. S. 77. T. II. Pl. 5.

seien. Um diese Annahme zu prüfen, stellte Nollet einen Apparat her, dessen wichtigster Teil eine Kugel war, welche gleichzeitig um zwei zueinander senkrechte Achsen in Rotation versetzt werden konnte. Sie wurde mit Wasser gefüllt, das an dieser doppelten Bewegung teilnehmen sollte. Das that es nun freilich nicht und konnte es auch, wie Nollet wohl einsah, nicht, so dass der Versuch ergebnislos blieb.

Von geringer Bedeutung sind diese Arbeiten; sie zeigen, dass die Schaffungskraft auf physikalischem Gebiete fast ganz verloren war. Man kommt zu demselben Schlusse, wenn man die Fortschritte der technischen Anwendungen der Physik betrachtet. Das Interesse an ihnen schien fast ganz geschwunden. Nur einer von La Hire, dem jüngeren¹⁾, 1716 angegebenen, kontinuierlich wirkenden Pumpe, die zwei Eingangs- und zwei Austrittsröhren oben und unten besaß und mit den entsprechend wirkenden Ventilen versehen war, der Verbesserung des Wassergebläses durch James Stirling²⁾, der 1745 einen Bach in ein oben mit Öffnungen versehenes vertikales Rohr leitete und durch ihn die Luft in einen Raum mitreißen ließ, in welchen die Düsenkanäle mündeten, endlich der Konstruktion der Garnwage, deren Zeiger sogleich die Garnnummer angiebt, 1765 durch Ludlam³⁾ (1718—1788) konstruiert, ist hier zu gedenken.

Auch auf dem Gebiete der Wärmeerscheinungen begnügte man sich mit dem Ausbau und der Verbesserung des Vorhandenen. Pieter van Musschenbroek⁴⁾ hoffte schon vor 1725 mit Hilfe seines Pyrometers dahin zu gelangen, höhere Temperaturen zu messen, als es das Thermometer gestattete. Seinen hierfür bestimmten Apparat zeigt Fig. 312. *AB* ist ein Metallstab, welcher in einem mit Alkohol, Wasser oder Öl befindlichen Messingkasten liegt. Sein eines Ende stützt sich gegen die Schraube *RF*, sein anderes drückt auf die Schraube *C*, welche mit einer Zahnstange in Verbindung gesetzt ist. Diese greift in ein Getriebe, dessen Achse den Zeiger *KI* trägt. Er spielt über einem Zifferblatte und wird gedreht, wenn sich *AB* verlängert oder verkürzt. Das erstere tritt aber ein, wenn die mit dem Gefäße *PO* in Verbindung stehenden Lämpchen angezündet werden. Die Temperatur der Flüssigkeit im Troge misst das Quecksilberthermometer *TS*. Musschenbroeks Apparat änderte Ellicott⁵⁾ 1736 dahin ab, dass er den sich ausdehnenden, mit dem einen Ende gegen das Widerlager sich stützenden Stab mit dem anderen Ende gegen eine Feder drücken ließ, an welcher eine über mehrere Rollen geleitete Schnur befestigt war. Ein Gewicht spannte die Schnur und bewirkte eine Drehung der Rollen, wenn der Stab sich ausdehnte, während die Kraft der Feder diese Drehung rück-

1) La Hire, Histoire de l'Acad. Française. Paris 1716. S. 322.

2) Stirling, Philosophical Transactions. 1745. Vol. 43. No. 475. S. 315.

3) Ludlam, Philosophical Transactions. 1765. Vol. 55. S. 205.

4) P. v. Musschenbroek, Introductio ad philosophiam naturalem. Lugd. Bat. 1762. T. II. S. 610.

5) Ellicott, Philosophical Transactions. 1736. No. 443. S. 297.

gänglich machte, wenn der Stab sich wieder verkürzte. An der Achse einer der Rollen befand sich ein über einer Teilung spielender Zeiger, so dass der Mechanismus der nämliche war wie der, den jetzt die Hitzdrahtinstrumente anweisen. 1736 verfertigte Jackson¹⁾ für Mortimer ein solches Pyrometer, bei welchem ein 13' 1" langer Messingstab den kurzen Arm eines Hebels hob, dessen längerer eine um eine Rolle geschlungene Schnur und dadurch einen Zeiger bewegte, eine Konstruktion, wie sie später auch Johnston²⁾ anwendete. Wenn auch dieser Apparat als Pyrometer nicht verwendbar war, so konnte er doch sehr gut zur Bestimmung der Ausdehnungskoeffizienten dienen, wenn man nur, wie dies später Lavoisier und Laplace thaten, für eine die Verlängerung genau gebende Ablesungsvorrichtung sorgte.

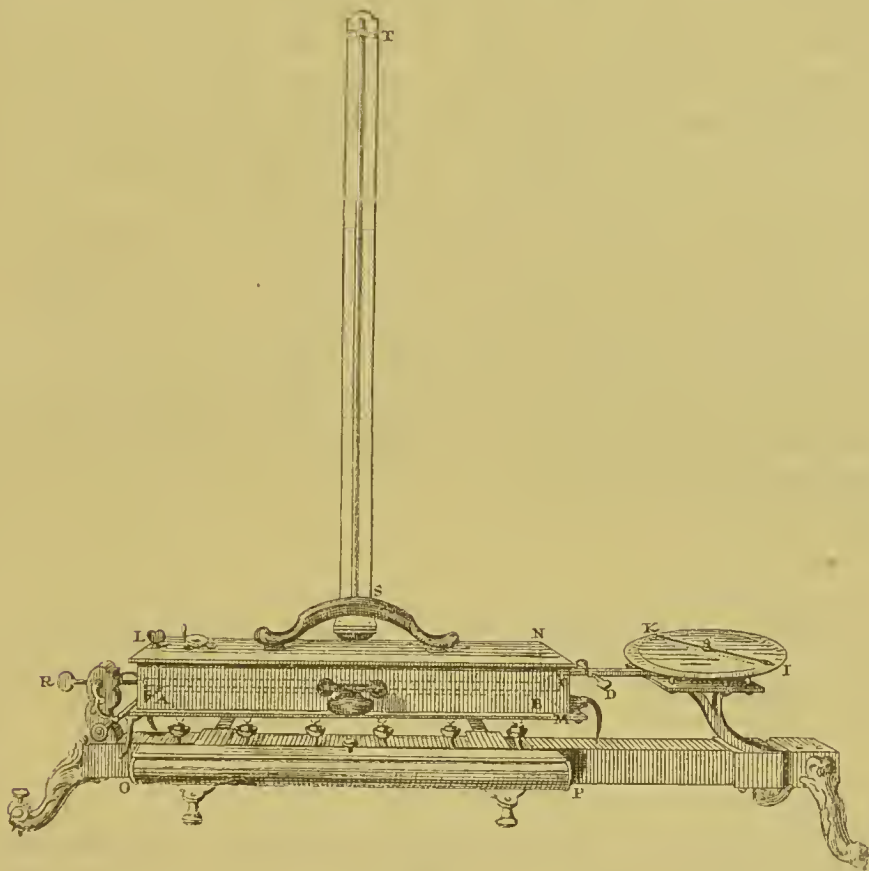


Fig. 312.

Wichtiger wie die Herstellung dieser ihren Namen mit Unrecht tragenden Pyrometer waren die Versuche Nollets zur Entscheidung der Frage, ob das Sieden einer Flüssigkeit wirklich, wie es damals noch allgemein angenommen wurde, von der in ihr befindlichen Luft herrühre³⁾. Er hob

1) Jackson, Philosophical Transactions. 1747. No. 484. S. 686.

2) Johnston, Ebenda. 1748. No. 485. S. 128.

3) Nollet, Histoire de l'Académie Royal des Sciences. 1748. S. 57.

hervor, dass es gegen diese Annahme spreche, dass die Flüssigkeiten bis zur Trockenheit sieden könnten, ohne dass veränderte Lichtreflexion oder starke Ausdehnung in den letzten Resten die Anwesenheit der zum Sieden nötigen Luftmenge verrate, sodann, dass Flüssigkeiten, welche verschiedene Mengen Luft enthielten, doch hinsichtlich des kräftigen Siedens durchaus keinen Unterschied erkennen ließen. Auch wollte es ihm trotz vieler zu diesem Zwecke angestellter Versuche nicht gelingen, die Luft, die das Sieden dadurch hervorrufen sollte, dass sie sich ausdehnt, nachzuweisen, und so kommt er zu dem Schlusse, dass es der Dampf der Flüssigkeit sei, den man so lange erwärmt hat, »bis er das Sieden hervorruft, und dessen Spannkraft man immer wieder erneuert, indem man brennendes Feuer unter dem Gefäße erhält«. Bei einem der Versuche, jene Luft zu erhalten, tauchte Nollet den Hals einer mit Wasser gefüllten Äolipile unter Wasser und erwärmte die Äolipile. Anfangs trat etwas Luft aus, das hörte aber bald auf und es trat statt dessen ein eigentümliches Geräusch auf, während die großen, aus der Äolipile sich entwickelnden Blasen nicht bis zur Oberfläche des Wassers gelangten. Diese Versuche beseitigten die Ansicht, dass die Luft die Ursache des Siedens sei, endgültig.

Andere Irrtümer hielten sich hartnäckiger. So veröffentlichte noch 1785 die Royal Society einen Brief Fordycees.¹⁾ (1736—1802), worin dieser mitteilt, dass schmelzende Körper leichter, erstarrende schwerer werden. Er hatte in einem pyknometerartigen Fläschchen, welches 1700 grain fasste, Flusswasser frieren lassen und dabei eine Gewichtszunahme beobachtet, mochte aber wohl den sie erklärenden Wasserniederschlag aus der Luft unbemerkt gelassen haben.

Die zu Wetterbeobachtungen und ähnlichen Zwecken dienenden Instrumente um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

1. Das Thermometer.

Wenn auch die hier zu besprechenden Instrumente keineswegs allein für meteorologische Beobachtungen bestimmt waren, so wurden doch, dank der Anregungen der Accademia del Cimento, der Royal Society u. s. w. die meisten von ihnen hauptsächlich für solche gebraucht und im Hinblick auf diese Bestimmung soviel wie möglich verbessert. Sie blieben freilich noch weit von dem hohen Grade der Vollkommenheit entfernt, welche sie in unserer Zeit erreicht haben, aber die Fehler, die ihnen noch anhafteten, wurden je länger je geringer und es wurden die Wege bezeichnet und eingeschlagen, die geeignet waren, sie zu verbessern.

¹⁾ Fordyce, Philosophical Transactions. 1785. Vol. 75. S. 361.

Wollte man wieder brauchbare Thermometer haben, so musste man auf den Standpunkt, auf welchen Fahrenheit die Kunst ihrer Herstellung gelassen hatte, zurückkehren, die von Réaumur gemachten Rückschritte beseitigen. Zunächst galt es, das Quecksilber wieder als thermometrische Substanz einzuführen, auf das immer und immer wieder dem Alkohol gegenüber als den zweckmäßigeren Körper für die Herstellung der Thermometer hingewiesen wurde, so wiederum 1749 von Miles¹⁾ (gest. 1763). Doch gelang es erst 1772 dem Genfer Deluc²⁾ (1727—1817) das Quecksilber als Thermometerfüllung wieder zur allgemeinen Geltung zu bringen und das Alkoholthermometer auf die wenigen Fälle zurückzudrängen, in denen das Quecksilber nicht ausreichte. So wurde es möglich, übereinstimmende Thermometer herzustellen, eine Aufgabe, an deren Lösung sich noch 1736 Weitbrecht³⁾ (1702—1747) vergebens versucht hatte.

Aber auch das Musscheubroecksehe Pyrometer suchte man thermometrischen Zwecken dienstbar zu machen. Um Temperaturunterschiede bei niedrigen Wärmegraden durch die Ausdehnung von Metallstäben messen zu können, musste man freilich darauf denken, die Ausdehnung eines genügend langen Stabes zu benutzen. Die Unbequemlichkeit, die ein solcher verursachte, beseitigten 1760 Fitzgerald⁴⁾ (gest. 1782) und 1762 Zeiher⁵⁾ (1720—1754) dadurch, dass sie mehrere Metallstäbe anwendeten, von denen der eine auf den Arm eines zweiarmigen, auf einer Schneide ruhenden Hebels drückte, dessen anderer Arm den folgenden Stab fortshob. Der englische Forscher suchte zudem die Empfindlichkeit des Instrumentes noch dadurch zu erhöhen, dass er den letzten der vier von ihm angewendeten Stäbe sich um eine Rolle drehen ließ, die ihre Bewegung mittels einer Schnur auf eine zweite kleinere übertrug und so einen auf dieser befestigten, die Ausdehnung des Metalles messenden Zeiger drehen ließ. Der Petersburger Akademiker aber zog es vor, die Anzahl der Stäbe zu vermehren, und so hat sein Thermometer die nämliche Form wie dasjenige, welches in unserem Jahrhundert Lamont als registrierendes Instrument benutzte.

Ein Thermometer mit wechselnder Empfindlichkeit suchte 1765 Zeiher⁶⁾ dadurch herzustellen, dass er das gläserne Gefäß durch ein mit einer Schraube versehenes eisernes ersetzte. Durch Drehen der Schraube konnte er die Kapazität des Gefäßes im Verhältnisse zur Weite des Rohres vergrößern oder verkleinern. Wie er für jedes einzelne Verhältniss die Skala erhalten,

1) Miles, Philosophical Transactions. 1749. Vol. 46. No. 491. S. 1.

2) Deluc, Recherches sur les modifications de l'Atmosphère. Genève 1772. S. 330.

3) Weitbrecht, Commentarii Petropolitani. VIII. 1736. S. 210.

4) Fitzgerald, Philosophical Transactions. 1760. Vol. 51. II. S. 823.

5) Zeiher, Commentarii Petropolitani. 1762/63. T. IX. S. 305.

6) Zeiher, Commentarii Petropolitani. 1765. Vgl. Acta Eruditorum. 1765. S. 262.

wie er die Dichtungen herstellen wollte, hat er uns freilich nicht mitgeteilt. Viel früher noch, bereits im Jahre 1744 hatte Krafft¹⁾ (1701—1754) ein registrierendes Thermometer konstruiert, welches Fig. 313 darstellt und

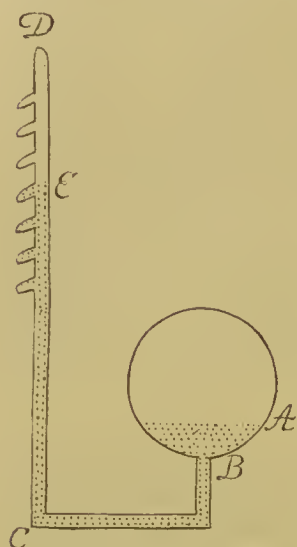


Fig. 313.

dazu dienen sollte, die Tiefen, bis zu welchen der Frost in nördlichen Gegenden in die Erde dringt, zu bestimmen. Die Kugel A war zum Teil mit Luft, zum Teil mit Quecksilber oder Alkohol gefüllt, welche Flüssigkeit in dem Rohre CD bis E reichte. An seiner einen Seite waren an dieses Rohr kleine Gefäßchen aus Glas angeschmolzen, bei D war es zugeblasen. Dehnte sich die Luft in A aus, so trieb sie die Flüssigkeit in CD empor, sie ergoss sich in die Glasgefäßchen und da die dort eingedrungene in ihnen verblieb, auch wenn die Flüssigkeit in DC sank, so konnte man leicht bestimmen, wie hoch sie gestanden hatte, wie hoch also die Temperatur gewesen war. In diesem Thermometer finden wir zum erstenmal die Ideen, die, weiter entwickelt, zu den berühmten Konstruktionen von

Fortin und Walferdin führten.

Der letztgenannte Pariser Glaskünstler machte sich auch die von Cavendish²⁾ (1703—1783) 1757 angegebenen Maximum- und Minimumthermometer zu nutze, welche 1782 Six³⁾ (gest. 1793) in dem Apparate vereinigte, der erst in neuerer Zeit als Thermometrograph zu allgemeiner Anwendung gekommen ist. Fig. 314 und 315 stellen die Maximumthermometer, Fig. 316 das Minimumthermometer vor.

Der in Fig. 314 abgebildete Apparat hat die Form eines gewöhnlichen Thermometers mit großem Gefäße, sein oberer Teil läuft in eine feine in der zugeschmolzenen Glasbirne C endigende Spitze aus. Es ist zum Teil mit Quecksilber, zum Teil mit Alkohol gefüllt, wie die Figur erkennen lässt, und besitzt auf beiden Seiten in entgegengesetzter Richtung Teilungen. Nach der Herstellung wird er soweit erhitzt, dass etwas Quecksilber in die Birne C tritt, über dem sich dann, ebenso wie über der Quecksilbersäule im Rohr etwas Alkohol befindet. Der übrige Raum ist mit Alkoholdampf gefüllt. Der Stand des Quecksilbers auf der Skala links abgelesen giebt die augenblickliche Temperatur. Hat diese eine gewisse Höhe erreicht, so tritt Alkohol in die Birne, der Alkoholfaden über dem Quecksilber wird dadurch verkürzt. Wenn dann die Temperatur wieder sinkt, so zieht er sich mit dem Quecksilber in das Rohr zurück. Sein Stand

1) Krafft, Commentarii Petropolitani. XIII. ad annum 1741—43. Petrop. 1751. Vgl. Nova Act. Erud. 1755. S. 372.

2) Cavendish, Philosophical Transactions. 1757. Vol. 50. I. S. 300.

3) Six, Philosophical Transactions. 1782. Vol. 72. S. 72.

wird auf der Skala rechts abgelesen und zeigt, um wie viel Grade die Temperatur die am Quecksilber abzulesende überstiegen hatte. Hat die Anwendung des großen Gewichtes Quecksilber Bedenken, so bedient man sich des Thermometers, welches Fig. 315 zeigt. Das Rohr ist unten U-förmig gebogen, an dem aufsteigenden Teil ist die Kugel *A* und darüber

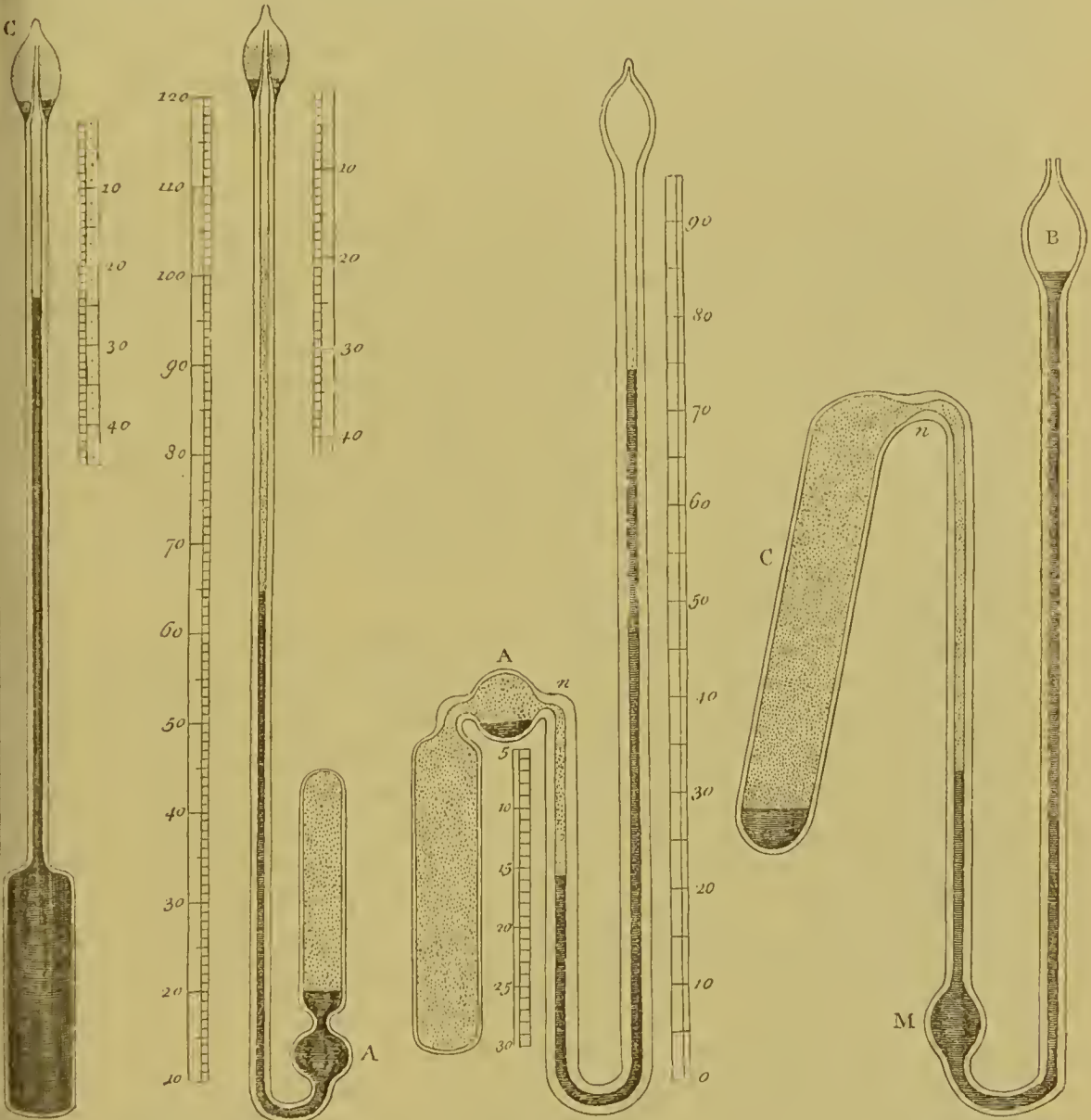


Fig. 314. Fig. 315. Fig. 316. Fig. 317.

ein cylindrisches Gefäß angebracht. Während dieses mit Alkohol gefüllt ist, enthält jene und ein Teil des Rohres Quecksilber, auf dem sich wieder Alkohol wie bei Fig. 314 befindet; die übrige Einrichtung und der Gebrauch des Instrumentes ist der nämliche, wie bei diesem. Der Zweck der Kugel *A* ist, zu verhüten, dass der Alkohol aus dem Cylinder über ihr in das Rohr tritt und so das Thermometer in Unordnung kommt.

Etwas verwickelter ist das Minimumthermometer eingerichtet, welches Fig. 316, S. 319, zeigt. Auch bei ihm ist das Thermometerrohr U-förmig gebogen, mündet aber mit seinem oberen Ende *n* in die Kugel *A*, an die sich das abwärts gebogene cylindrische mit Alkohol gefüllte Gefäß schließt. Über dem Quecksilber befindet sich in dem langen, oben zu einer Birne erweiterten Teil des Rohres Alkohol und Alkoholdampf. Die Skala links lässt die augenblicklich vorhandene, die rechts das Minimum der Temperatur zwischen zwei Zeitpunkten beobachten. Ein Teil des Quecksilbers begiebt sich nämlich in die Kugel *A*, wenn die Temperatur immer mehr sinkt, bei wieder steigender ist mithin der Faden im kürzeren Sehenkel kürzer. Da nun aber, wenn das Rohr bei *n* weit wäre, das Quecksilber in großen Tropfen herabfallen würde, so würden die Beobachtungen nur auf soviel Grade genau sein, als das den übertretenden Tropfen bildende Quecksilberrohr im Thermometer einnehmen würde. Sollen kleinere Werte abgelesen werden, so muss das Quecksilber bei *n* sich nur in ganz kleinen Tröpfchen ablösen. Dazu ist zunächst der Durchmesser des Rohres bei *n* durch Einsehmelzen an der Lampe stark verkleinert » und die Passage ist ferner verengt durch einen soliden Glasfaden, welcher in das Rohr gebracht worden ist und sich vom Boden des kurzen Sehenkels bis nahe zu der Kugel *A* erstreckt, wo es am meisten zusammengezogen wurde«. Um das Instrument zu einer neuen Beobachtung brauchbar zu machen, muss man es neigen, bis das Quecksilber aus *A* wieder in den kurzen Sehenkel des Thermometerrohres geflossen ist.

Schütteln oder Stöße verträgt dies Instrument freilich nicht, ohne in Unordnung zu kommen. Für die Bestimmungen von Tiefseetemperaturen wäre es demnach nicht geeignet gewesen. Da aber Cavendish die Wichtigkeit soleher wohl einsah, so gab er dem Minimumthermometer noch die Form, welche aus Fig. 317, S. 319, ersichtlich ist. Das aus dem kurzen Sehenkel *Mn* tretende Quecksilber fällt durch das bei *n* verengte Verbindungsstück *n* in das Gefäß *C*, aus dem es auch das heftigste Schütteln nicht wieder zurücktreten lässt. Die Kugel *M* aber hat den Zweck, zu verhüten, dass beim Neigen des Thermometers Alkohol in den langen Sehenkel gelangt. Denn da wegen des großen Wasserdrukkes sein birnförmiges oberes Ende offen bleiben muss, so muss verhütet werden, dass sich der Alkohol mit dem dort eingedrungenen Meerwasser vermischen oder in die daselbst vorhandene Luft verflüchtigen kann. Die in den Apparat zu bringende Menge Quecksilber wird man so abmessen, dass es noch bis *B* hereinreicht.

Dass dies Quecksilber luftfrei und ganz trocken sein müsse, hatten die sogleich zu besprechenden mit dem Barometer gemachten Erfahrungen gelehrt. Ob man sie, wie es Ferdinand II. von Toskana mit seinen Alkoholthermometern gethan, wie man es vor 1724 mit den Barometern zu thun gelernt hatte, auskoechte, darüber ist, wie wir sahen, uns nichts überliefert. Fahrenheit scheint bei Herstellung seiner Thermometer so nicht verfahren zu sein, wenigstens teilt er nichts darüber mit. Auch dürfte der

Vorschlag, den noch 1745 von Bergen¹⁾ macht und den der Bericht-erstatte über sein Buch in den *Aetis Eruditorum*²⁾ doch wohl, weil er ihn für neu und empfehlenswert hielt durch den Druck hervorhebt, eine solche Annahme nicht unterstützen. »Das Quecksilber«, sagt von Bergen, »wird in einem Tontiegel erhitzt, bis es zu rauchen beginnt. Dann wird es unter den Rezipienten gebracht und, nachdem die Luft herausgezogen worden ist, im luftleeren Raume abkühlen gelassen. Das so gereinigte Quecksilber wird in einem trockenen, reinen und verschlossenem Gefäße für den Gebrauch aufbewahrt«.

2. Die Barometer.

Die Thermometer Cavendishs stellten so hohe Anforderungen an diejenigen, welche ihrer Herstellung sich unterzogen, dass in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts die Kunst der Glasbläserei eine hohe Stufe bereits erreicht haben musste. Der aus Glas bestehende Teil der Barometer war leichter zu verfertigen, dafür aber erforderte die Behandlung des Quecksilbers die größte Sorgfalt, wenn keine Luft in der Barometerkammer bleiben sollte. Ein Kriterium dafür glaubte man in der Beobachtung gefunden zu haben, welche 1675 zufällig Picard³⁾ (1620—1682) gemacht hatte, dass Barometer, welche obige Eigenschaft aufwiesen, im Dunkeln geschüttelt in ihrem oberen Teil schwach zu leuchten begannen. Das erreichte man mit Sicherheit, indem man die Barometer, nachdem man sie mit Quecksilber gefüllt hatte, auskochte. Gemacht war diese Entdeckung in Deutschland, ohne dass uns überliefert wäre von wem. Bekannt wurde sie aber erst 1724 durch eine Abhandlung Du Fays⁴⁾ (1698—1739), welcher erzählt, dass sie ihm ein deutscher Glaskünstler mitgeteilt habe. Das von ihm angewendete Verfahren schildert er folgendermaßen: »Er (der Glaskünstler) nahm ein Rohr von etwa 32 Zoll Länge und einer Linie innerem Durchmesser und führte einen Eisendraht hinein, an dessen einem Ende ein wenig Baumwolle sich befand, um das Rohr innen zu trocknen, darauf schloss er mit seiner Lampe eines der Enden des Rohres; nachdem es abgekühlt war, brachte er von neuem einen Eisen-

1) von Bergen, *De Thermometris mensurae constantis Commentatio*. Francofurti ad Viadrum 1745.

2) *Nova Acta Eruditorum*. Supplementa VI. Sect. IV. S. 170.

3) Bernoulli, *Histoire de l'Acad. Royale à Paris*. 1700. S. 178.

4) Du Fay, *Sur les baromètres lumineux*. Mémoires de l'Acad. Franç. Paris 1723. S. 295. Den Namen des deutschen Künstlers teilt Du Fay nicht mit. Wenn Günther (*Kosmos* III. S. 283) die Erfindung der von jenem nach Paris gebrachten Methode des Auskochens der Barometer Weidler zuschreibt, so irrt er schon deshalb, weil die Schrift, auf die er sich beruft, wie ein Blick in Poggendorffs biographisch-litterarisches Wörterbuch beweist, gar nicht von Weidler sein kann, auch das Auskochen nicht einmal vorschreibt.

draht ohne Baumwolle hinein und füllte es durch einen Glastrichter bis zu einem Drittel seiner Höhe mit gewöhnlichem Quecksilber, welches keine andere Zubereitung erfahren hatte, als dass man es durch eine Düte aus Papier mit einer möglichst kleinen Öffnung hatte gehen lassen. Dadurch war das Quecksilber vollständig von seinem Schmutz befreit, welcher in der Papierdüte zurückblieb. Dann entzündete er einige Kohlen in einem Becken, brachte das Barometer in geneigte Lage und brachte anfangs das geschlossene Rohrende in nicht zu große Nähe, bis er noch dahin kam, es auf die Kohlen zu legen. Das Quecksilber begann zu wallen und zu sieden, oder vielmehr die Luft, welche es enthielt, begann sich auszudehnen und kleine Blasen zu bilden, welche sehr leicht herausgingen, weil er fortwährend das Rohr wendete und mit dem Eisendraht rührte, indem er ihn abwechselnd herauszog und eintauchte, bis keine Luftblasen mehr sich zeigten; dann schob er das Rohr weiter über das Becken und erwärmte so nach und nach langsam alle Teile des Rohres, bis zu welchen das Quecksilber reichte. Nachdem er es hatte erkalten lassen, füllte er noch Quecksilber zu, bis zum zweiten Drittel seiner Höhe und erwärmte es auf dieselbe Art, um die Luft daraus zu entfernen. Als das Rohr abgekühlt war, füllte er es ganz, erwärmte aber das letzte Drittel nicht mehr, indem er mir versicherte, dass das unnütz wäre. Er setzte darauf auf das Rohrende einen Stopfen von weißem Holz, den er mit Siegellaek verkittete. Nachdem er dann das Barometer in seine natürliche Lage gebracht hatte, trugen wir es an einen dunklen Ort, wo es uns stark leuchtend erschien, so dass jedesmal, wenn ich balancierend das Quecksilber herabgehen ließ, der ganze leere Raum, welcher darüber war, wie eine Säule von Licht erschien, welches jedoch nach dem unteren Teile zu, d. i. nach der Stelle, wo sie unmittelbar das Quecksilber berührte, am lebhaftesten war.«

Bekanntlich ist über den Grund dieser Lichterseheinung lange gestritten worden. Doch hat dieser Streit für uns nur ein untergeordnetes Interesse. Man führte sie auf eine besondere Lichtmaterie zurück, einer Erklärung, der auch Du Fay trotz seiner eingehenden Beschäftigung mit elektrischen Problemen, die wir weiter unten zu schildern haben werden, sich anschloss. Es ist dies um deswillen zu verwundern, als schon 1708 Hawksbee gestützt auf seinen bereits besprochenen Versuch mit der Luftpumpe, die Erscheinung ganz richtig aus der Reibung des Glases am Quecksilber erklärt hatte. Seine Ansicht gewann je länger je mehr die Anerkennung der Physiker. 1745 schloss sich ihr der jüngere Ludolff¹⁾ (1707—1763) ausdrücklich an, indem er als Vorbedingung für sie das Auskochen der Barometer erklärte. Als dann im folgenden Jahre l'Allemand²⁾ den Versuch machte, den in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts Geißler in

¹⁾ Ludolff, Mémoires de l'Acad. Royale des Sciences à Berlin 1745. S. 1.

²⁾ l'Allemand, Philos. Transact. 1746. Vol. 44. No. 478. S. 58.

Bonn, freilich ohne Erfolg, technisch verwendbar zu machen suchte, dass er in einem luftleeren Rohre Quecksilber schüttelte und so zum Leuchten brachte, war der experimentelle Beweis für die Richtigkeit der Hawksbeeschen Annahme erbracht, und zu ihr bekannte sich denn auch 1767 Aepinus¹⁾ (1724—1802), zu endgiltiger Anerkennung aber brachte sie wohl erst 1772 Deluc²⁾.

Wichtiger wie das leuchtende Barometer ist für uns ein Apparat, den Zeiher³⁾ im Jahre 1760 beschrieb, weil er das erste Aneroid darstellt. Den Gedanken, die Größe des Luftdruckes durch den Widerstand eines einen luftleeren Raum offen haltenden federnden Körpers zu messen, hat, wie wir sahen, Leibniz zuerst ausgesprochen. Da er aber seine Pläne in Briefen, die erst in unseren Tagen veröffentlicht sind, niedergelegt hatte, so konnte Zeiher keine Kenntnis davon haben. Dass dieser seine Erfindung ganz selbständig machte, geht zudem aus dem Gedankengange hervor, der ihn darauf führte. »Wenn wir an Stelle des Quecksilbers in einer Torricellischen Röhre« sagt er, »eine Feder nehmen, so ist es klar, dass diese so weit zusammengepresst wird, bis sie dem Luftdrucke widersteht. Daraus ergibt sich weiter, dass diese Feder bei einer geringeren Quecksilberhöhe im Torricellischen Barometer, z. B. 27 Zoll, weniger zusammengepresst wird, als wenn sie eine Höhe von 28 oder 29 Zoll zu tragen hat. Daher wird diese Feder ebenso wie die Quecksilbersäule bei Änderungen des Luftdruckes einen gewissen Raum durchlaufen, und wenn sie mit einem Zeiger versehen wird, ebenso wie das Quecksilber die vorkommenden Änderungen angeben«.

Um diesen Gedanken praktisch zu verwenden, nahm Zeiher einen Cylinder, dessen Boden mit Ledereinlage luftdicht angebracht, dessen Deckel ohne besondere Vorsichtsmaßregel aufgesetzt wurde. Durch den Deckel ging die Stange eines luftdicht in dem Cylinder beweglichen Kolbens, an dem das eine Ende einer Spiralfeder befestigt worden war, deren anderes vom Deckel gehalten wurde. Der Raum unter dem Kolben wurde soviel wie möglich luftleer gepumpt und so erhalten. Oberhalb des Cylinderdeckels legte sich die Kolbenstange gegen eine Frictionsrolle, gegen welche sie eine zweite Feder presste. Die Achse der Rolle trug einen Zeiger, der auf einer empirischen Skala spielte. Um den Kolben dicht zu halten, sollte er mit einer Mischung von Öl und Talg übergossen werden. Auch war das Auspumpen des Cylinders von Zeit zu Zeit zu wiederholen, wonach jedesmal die Skala von neuem ausgewertet werden musste. Gegenüber dieser noch recht ungeschickten und unbequemen Anordnung tritt die von Vidi⁴⁾ 1848 gemachte Erfindung des modernen Aneroids in ein neues

1) Aepinus, Commentarii Petropolitani. 1767. T. IX. S. 303.

2) Deluc, Recherches sur les modifications de l'Atmosphère. Genève 1772.

3) Zeiher, Commentarii Petropolitani. 1760—61. T. VIII. S. 274.

4) Vidi, Poggendorffs Annalen. 1848. Bd. 73. S. 620.

Licht. Während Zeiher das luftleere Gefäß und die Feder gesondert anbringt, vereinigt Vidi beide und setzt die Elastizität des Deckels des luftleer gemachten Raumes an die Stelle der Feder.

3. Die Hygrometer und die übrigen meteorologischen Instrumente.

Weniger wie Thermometer und Barometer wurden in dem in Rede stehenden Zeitraume die Apparate zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit gefördert. Arderon¹⁾ schlug 1746 wieder vor, dazu einen Schwamm an den einen Arm einer Wage zu hängen, setzte aber auch sieben Holzstücke zusammen und maß deren Verlängerung bei zunehmender Luftfeuchtigkeit. Auch Ferguson²⁾ (1710—1776) wendete Holz an; sein Hygrometer ist dem von Coniers sehr ähnlich. Verbesserungen beduteten diese Vorschläge nicht, und auch der von Inochodzow³⁾ (1741—1806) an den Ufern der Camyschenka gelegentlich einer behufs astronomischer und geodätischer Messungen angestellten Reise aufgefundene Lapis hydro-metricus, ein weicher zerreiblicher Thon, übertraf in nichts den Schwamm an Verwendbarkeit für Bestimmung der Luftfeuchtigkeit.

Brauchbarer, wenigstens für qualitative Bestimmungen erwies sich der Vorschlag des Ingenieurs Smeaton⁴⁾, dem die Benutzung der hygroskopischen Eigenschaften der Hanfseile am nächsten lag. Größere Genauigkeit erreichten die Instrumente Lamberts und Delucs, die freilich auch mehr Vorhandenes verbesserten, als Neues einführten. Lamberts⁵⁾ (1728—1777) 1772 konstruiertes Hygrometer verwandte als hygroskopischen Körper die damals für denselben Zweck bereits öfters benutzte Darmsaite. Aber indem er ihr einen Zeiger tragendes oberes Ende an einer mit Teilung versehenen Kartonplatte befestigte, die Kartonplatte von einem schraubenförmig gewundenen Drahte tragen ließ, dessen Achse die Saite bildete, sicherte er ihre Lage und zugleich den Luftzutritt. Die Saite und der federnde Draht waren mit ihrem unteren Ende an eine zweite Kartonplatte befestigt, welche von zwei Füßchen getragen wurde. Doch scheint der zierliche Apparat, den sich jeder leicht selbst anfertigen und als Hygroskop benutzen konnte, seinen Erfinder auf die Dauer nicht befriedigt zu haben. Wenigstens ging er später wieder auf die altgewohnte Konstruktion zurück, bei welcher die Saite an ihrem oberen Ende befestigt wurde und an ihrem unteren den über eine Teilung spielenden Zeiger trug.

1) Arderon, Philosophical Transactions. 1746. Vol. 44. S. 95 und 184.

2) Ferguson. Ebenda. 1764. IV. S. 259.

3) Inochodzow, Acta Academiae Scientiarum imperialis Petropolitanae. 1778. T. II. S. 193.

4) Smeaton, Philosophical Transactions. 1771. Vol. 61. S. 198.

5) Lambert, Mémoires de l'Académie des Sciences à Berlin. 1772. S. 65.

Deluc¹⁾ mit gewohnter Sorgfalt hergestelltes Instrument stellt Fig. 318 dar. Der Reformator der Kunst, zuverlässige Thermometer zu machen, gab ihm die Form des ihm so vertrauten Apparates, das Gefäß zeigt in größerem Maßstabe die Nebenfigur. Es bestand aus einem Stück Elfenbein, in welches in der Richtung der Fasern ein Loch gebohrt worden war. Darauf war es mit der Messingfassung *ff* versehen und in ihre Öffnung das Thermometerrohr *ad* mit Gummilack oder Mastix hineingekittet. Der Ring *hi* hielt die von *g* an mit etwas stärkerer Wand versehene Elfenbeinbüchse zusammen. Mit Hilfe eines durch das Rohr gesteckten Pferdehaares wurde das Ganze mit Quecksilber angefüllt und nun zwei feste Punkte zu bestimmen gesucht. Dazu ging Deluc von der allerdings ganz unbewiesenen Voraussetzung aus, dass die Elastizität des Elfenbeines nach Änderungen, die sie durch wachsende oder abnehmende Feuchtigkeit erlitten habe, das innere Volumen des Gefäßes wieder auf seinen Anfangswert zurückführe. Den Raum zwischen den so gefundenen Punkten, größte Trockenheit und Feuchtigkeit, wollte Deluc dann in gleiche Teile teilen. Den Anfangswert der Teilung suchte er dadurch zu bestimmen, dass er das Gefäß in Wasser von der Temperatur des schmelzenden Eises tauchte. Die Festsetzung ihres zweiten festen Punktes war schwieriger, namentlich auch deshalb, weil das Instrument zugleich als Thermometer wirkte. Nicht sehr glücklich suchte er diese Schwierigkeit dadurch zu heben, dass er

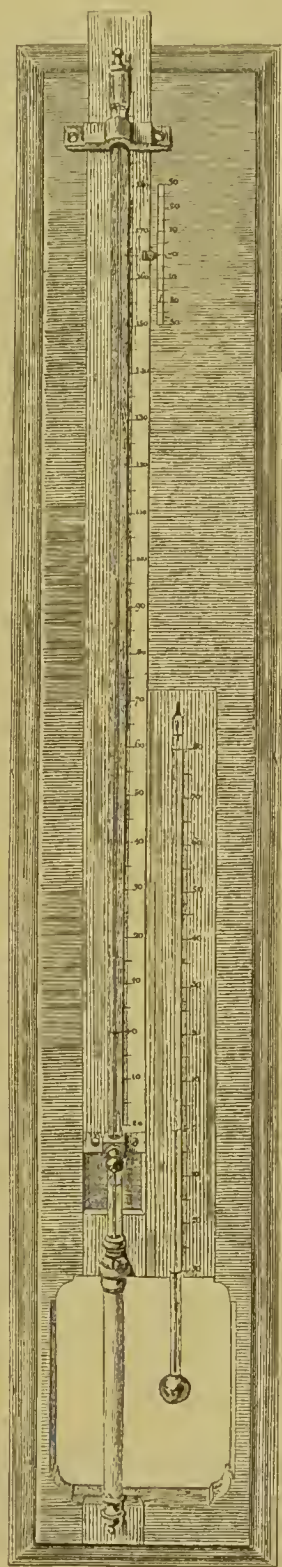
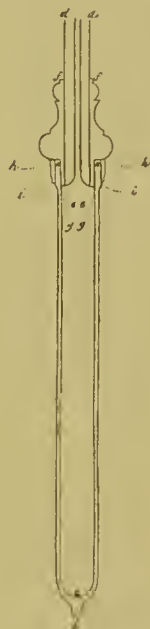


Fig. 318.



¹⁾ Deluc, Philosophical Transactions. 1774. Vol. 63. Tom. I. S. 404.

das Gewicht des in einem Thermometer mit aufgetragener Skala vorhandenen Quecksilbers mit dem in sein Instrument gegebenen verglich, nach dieser Proportion das Fundamentalintervall bestimmte, die Abstände beider, wie er meinte, fester Punkte, in vierzig Teile teilte und diese Teilung nach beiden Seiten fortsetzte. Er nahm nun für seine Beobachtungen ein in vierzig Teile geteiltes, also halbes Réaumur'sches Thermometer und glaubte durch dessen Vergleichung mit seinem Instrumente die Änderung des Elfenbeingefäßes infolge der Feuchtigkeitsbestimmung zu können. Die Ungenauigkeit, die der Bestimmung des Punktes größter Trockenheit aber anhaftete, ließ ihn später sein Instrument wieder aufgeben und das Elfenbein durch das Fischbein als hygroskopische Substanz ersetzen, das er auch nicht aufgab, als De Saussure¹⁾ (1740—1799) als solche in seinem so berühmt gewordenen Hygrometer ein blondes Menschenhaar nahm. So ohne weiteres, wie Holz, Fischbein oder Elfenbein ließ sich freilich das Haar nicht verwerten, es musste erst durch längeres Kochen in Kali- oder Natronlauge von seinem Fettüberzuge befreit werden. Dunkle, pigmenthaltige Haare blieben aber auch dann untauglich, weil ihre Verlängerung oder Verkürzung sich als unregelmäßig erwies. Das entfettete Haar wurde dann so ausgespannt, dass es bei Längenveränderungen eine Rolle mit Zeiger drehen musste, indem ein an derselben Rolle im entgegengesetzten Sinne wirkendes kleines Gewicht das Haar gespannt erhielt. Um die Punkte größter Feuchtigkeit und Trockenheit zu finden, brachte De Saussure es zunächst mit Wasser unter eine Glasglocke, sodann unter eine solche, unter welcher die Luft stark erhitzt war. Den Raum zwischen diesen beiden Punkten aber teilte er in hundert gleiche Teile.

Trotz der Angriffe, die namentlich Delue, aber auch andere gegen das Haar-Hygrometer richteten, ist es das einzige, was sich behauptet hat, da es gelang, das so bequeme Instrument für genaue Messungen brauchbar zu machen. So ersetzte auf Grund sorgfältiger Versuche Gay Lussac die De Saussuresche Skala durch eine andere, welche den Wassergehalt der Luft in Prozenten der Sättigungsmenge bei der gerade herrschenden Temperatur giebt, und es ist bekannt, dass, seit Koppe seine Zuverlässigkeit durch die Möglichkeit, den Sättigungspunkt in jedem Augenblicke zu prüfen und zu berichtigen, gelehrt hat, seine Angaben so genau sind, dass es auf den meteorologischen Stationen hat eingeführt werden können. Dabei ist namentlich die Unabhängigkeit seiner Ablesungen von der Temperatur eine sehr schätzbare Eigenschaft.

Auch die übrigen meteorologischen Messinstrumente suchte man zweckmäßiger zu gestalten. Dem Regenmesser gab 1734 Grischow²⁾ (1683—1799) einen vergrößerten Auffangerraum, ließ ihn trichterförmig nach unten

1) De Saussure, *Essais sur l'hygrometrie*. Neuchâtel 1783. Vgl. Gehlers physikalisches Wörterbuch. V. S. 600.

2) Grischow, *Miscellanea Berolinensia*. 1734. T. IV. S. 349.

zulafen und fügte ein Maßgefäß mit Deckel zu, welcher, da er nur eine Öffnung zur Aufnahme des Trichterhalses hatte, die Verdunstung des aufgefangenen Wassers verhinderte. Dem 1709 von Christian Wolff¹⁾ (1679—1754) angegebenen, 1725 von Leutmann²⁾ verbesserten Anemometer schloss sich das 1749 von Lomonosow³⁾ (1711—1765) entworfene an. Es maß die Geschwindigkeit des Windes, indem ein durch diesen in Drehung versetztes Windrad die Anzahl seiner Umdrehungen auf ein Zählwerk mit Glocke übertrug. Die Windstärke versuchten 1757 Bouguer⁴⁾ (1698—1758) n. a. zu messen, indem sie durch den Wind eine Platte mit Stange, welche die Windfahne dem Winde immer entgegen richtete, gegen eine Spiralfeder drücken ließen, welche sich in einem parallelepipedischen Behälter befand. Je nach der Windstärke wird die Stange tiefer in den Behälter hereingepresst, und eine auf ihr angegebene Teilung lässt auf die Stärke des den Druck ausübenden Windes schließen.

Endlich sei hier noch des Instrumentes erwähnt, mit dessen Hilfe Richmann (1711—1753) die Menge des verdampfenden Wassers messen wollte und dessen Beschreibung er 1749 unter dem Titel: »Konstruktion eines Atmometers oder einer hydrostatischen Maschine, welche das bei einem bestimmten Wetter verdampfte Wasser zu messen gestattet und geeignet ist, dessen wenige Gran betragende Menge zu beobachten und das Gesetz der Verdampfung aufzustellen« veröffentlichte⁵⁾. Das einfache Instrument bestand aus einem Verdampfungsgefäß mit Schwimmer, der den Grad der Entleerung zu bestimmen gestattete.

Die optischen Apparate um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

Unter dem Einflusse der Autorität Newtons waren es die katoptrischen Instrumente, deren Vervollkommenung und erweiterte Anwendung man erstrebte. Die äußere Form, welche Halley⁶⁾ 1722 dem Spiegelteleskop gegeben hatte, behielt Short (1710—1768) bei, und die Verbesserung, welche 1740 Caleb Smith⁷⁾ vorschlug, statt des Metallspiegels einen solchen von Glas zu nehmen, dessen vordere Fläche einen größeren Krümmungsradius aufwies wie die hintere, erwies sich durehans nicht als eine

1) Wolff, *Elementa Matheseos universae*. Halae 1743. T. II. S. 405.

2) Leutmann, *Instrumenta meteorognosiae*. Wittenbergae 1725. S. 116. Vgl. Gehlers physikalisches Wörterbuch. Bd. X. S. 2160.

3) Lomonosovius, *Commentarii Petropolitani*. 1749. T. II. S. 128.

4) Bouguer, *Manoeuvre des Vaisseaux*. Paris 1757. S. 151.

5) Richmann, *Commentarii Petropolitani*. 1749. T. II. S. 121.

6) Halley, *Philosophical Transactions*. 1722. Vol. 32. No. 376. S. 303.

7) Smith, *Ebenda*. 1740. Vol. 41. No. 456.

solche. Obgleich nun Dollond¹⁾ (1706—1761) 1757 zuerst die theoretischen Ergebnisse Eulers²⁾ (1707—1783) und Klingenstiernas³⁾ (1698—1765) durch den Versuch bestätigte, dass die Zerstreuung der Farben bei gleich starker Brechung eine verschiedene sein könne und, gestützt auf diese Erfahrung anfang, seine noch berühmten Refraktoren zu bauen, so bewahrten doch die Reflektoren bis in das 19. Jahrhundert ihre bevorzugte Stellung, wie denn William Herschel seine bewunderungswürdigen Arbeiten und Entdeckungen mit solchen machte. Auf die Herstellung guter Spiegel war deshalb nach wie vor das Bestreben der ausübenden Optiker gerichtet. Dazu aber war ein gutes Spiegelmetall von größter Wichtigkeit. Die Herstellungsweise eines solchen schilderte 1777 John Mudge⁴⁾ (1721—1793), indem er ausdrücklich bemerkte, dass Short sich einer ähnlichen bedient habe, folgendermaßen. Zuerst wurden zwei Pfund schwedischen Kupfers geschmolzen und $14\frac{1}{2}$ Unzen gekörnten Zinnes hinzugefügt. Nachdem die Schlacke abgezogen war, wurde das Metall in eine Blockform gegossen, dann wieder geschmolzen und in die Spiegelform gebracht. Die Schmelztemperatur der Legierung ist niedriger wie die ihrer Bestandteile, es muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass sie möglichst wenig überschritten wird, um der Kalcinierung (Oxydation) des Zinnes vorzubeugen. Auf ihr Eintreten ist die Beobachtung zurückzuführen, dass das Metall durch zu häufiges Schmelzen etwas von seiner Härte und weißen Farbe verliert. Ist das Metall in der Form, so muss noch etwas Zinn zugegeben werden, auf 1 Pfund vielleicht $\frac{1}{2}$ Unze. Besonders schöne Spiegel von feinstem Korn erhielt man, wenn man nicht von vornherein die $14\frac{1}{2}$ Unzen Zinn den 2 Pfund geschmolzenen Kupfers zufügte, sondern etwa 1 Unze Zinn zurückbehielt, um es vor dem Gusse langsam einzubringen. Eine gute Oberfläche erhält das Gussstück dadurch, dass man unmittelbar vor dem Ausgießen einen Löffel voll Holzkohlenstaub in den Tiegel brachte, mit einem Holzstabe umrührte und dann erst ausgoss.

Für das rohe Abschleifen des Spiegels diente ein Block aus Blei mit $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{6}$ Zinn, der nach der dem Spiegel zu gebenden Form abgedreht war. Eingeschnittene Kanäle gestatteten die Aufnahme von Smirgel; auf dieser Form wurde der mit angekitteten Handhaben versehene Spiegel abgeschliffen. Das war nicht schwer, ein gewöhnlicher Arbeiter brachte es bald dahin, in zwei Stunden den Spiegel abzuschleifen. Zu dem Polieren dienten Formen von Hamburger Messing, denen mit Hilfe eines Schlägels durch passend angebrachte Schläge so genau wie möglich die gewünschte Gestalt gegeben war. Das Schleifmittel für die letzte Politur war der feinste

1) Dollond, Philosophical Transactions. 1758. Vol. 50. I. S. 733.

2) Euler, Mémoires de l'Académie Roy. de Berlin. 1747. S. 285.

3) Klingenstierna, Kongl. Svenska vetenskaps akademiens Handlingar. 1754. In der deutschen Übersetzung. Bd. 16. S. 300.

4) Mudge, Philosophical Transactions. 1777. Vol. 67. I. S. 296 ff.

Smirgel, den Mudge, wie dies jetzt auch noch geschieht, durch Schlemmen erhielt.

War so der Spiegel mit größter Sorgfalt poliert, so wurden die Bilder, welche seine Mitte und seine einzelnen ringförmigen Zonen gaben, genau geprüft und wenn nötig, die Form durch richtig angebrachte Schläge korrigiert. Auch überzog man diese wohl, wie vielfach auch jetzt noch, zur Aufnahme des Smirgels mit Pech.

Bei dem überwiegenden Interesse, welches vor den Refraktoren die Spiegelteleskope in Anspruch nahmen, kann es nicht überraschen, dass man auch katoptrische Mikroskope herzustellen unternahm. Bei dem 1736 von ihm angegebenen legte Baker¹⁾ (1698—1774) die Einrichtung des Gregoryschen Fernrohres zu Grunde und brachte mit Hilfe des Mechanikers Scarlett auch ein solches Mikroskop zu stande. Auch Cuff²⁾ fertigte sie an. Doch kam man von den unbequemen Apparaten rasch wieder ab, seit Dollond die Möglichkeit der achromatischen Objektive erwiesen hatte. So ist denn das Mikroskop des sehr vollständigen dioptrischen Apparates, welchen 1770 Nollet³⁾ verwendete, ein dioptrisches. Linsen zu Brillen zu benutzen, hatte man überhaupt nicht aufgehört, und so war auch das Bedürfnis stets vorhanden geblieben, eine große Anzahl Linsen auf einmal zu schleifen, ohne dass der Richtigkeit ihrer Form Eintrag geschah. Dem suchte 1741 Jenkins⁴⁾ dadurch zu genügen, dass er die Glasstücke in eine Cementkugel kittete, welche um eine horizontale Achse drehbar war und in einer halbkugeligen Form ruhte, welche gleichzeitig um eine senkrechte Achse rotierte.

Eines Apparates haben wir hier noch zu gedenken, welcher 1731 bekannt gegeben wurde und auch jetzt noch in seiner ursprünglichen Gestalt oft genug verwendet wird. Es ist der Spiegelsextant, dessen Beschreibung der Verfertiger optischer Apparate, John Hadley⁵⁾ (gest. 1744) damals veröffentlichte und ihn (unter seinem Namen auf die Nachwelt gebracht hat, wenn ihn auch der Amerikaner Allen⁶⁾ für Godfrey (gest. 1749), ja für Newton in Anspruch nehmen möchte.

1) Baker, Philosophical Transactions. 1736. Vol. 39. No. 442. S. 259.

2) Cuff, Ebenda. 1740. Vol. 41. No. 458. S. 517.

3) Nollet, L'Art des Expériences. Paris 1770. T. III. Pl. 14.

4) Jenkins, Philosophical Transactions. 1741. Vol. 41. No. 459. S. 555.

5) Hadley, Ebenda. 1731. Vol. 37. No. 420. S. 147.

6) Allen, An American Biographical and Historical Dictionary. Boston 1832.

Vgl. Poggendorff, Biogr. liter. Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften. Leipzig 1863. Bd. I. S. 920.

Die Elektrizität im 18. Jahrhundert.

1. Die Elektrisiermaschine.

Es erschien nicht thunlich, die Darstellung der Fortschritte der Elektrizitätslehre im achtzehnten Jahrhundert, wie die der Lehre vom Lichte oder der Wärme in einzelne Abschnitte nach ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge zu zerlegen. Sind die Arbeiten auf diesem Gebiete dazu einmal nicht zahlreich genug, so gehen sie andererseits in einer Weise neben einander her, welche es schwer machen würde, bei einer solchen Teilung die Übersichtlichkeit zu wahren. Wir ziehen deshalb vor, die Entwicklung der einzelnen Apparate und Lehren, soweit dies möglich ist, gesondert zu betrachten.

Wollte man die elektrischen Untersuchungen Otto von Guericke's mit Erfolg fortsetzen, so bedurfte man vor allen Dingen bequemerer Methoden, um die Elektrizität zu erzeugen. Der Vorschlag, den Hawksbee¹⁾ machte, die rotierende Schwefelkugel durch eine luftleer gepumpte Glaskugel zu ersetzen, auf welche der Experimentator die Hand auflegte, war allerdings keine bedeutende Verbesserung, doch machte er selbst mit diesem Apparate eine große Anzahl von Versuchen, und andere folgten ihm nach. In Fig. 300 S. 305 haben wir die Maschine kennen gelernt, die 's Gravesande zu seinen Versuchen benutzte, sie ist die Hawksbeesehe. Seit 1743 bediente sich ihrer auch der Leipziger Professor Hansen, der die geriebene Glasröhre auf den Rat eines seiner Schüler durch die Glaskugel ersetzte. Man wird wohl annehmen dürfen, dass dieser die Idee dazu von Hawksbee oder 's Gravesande übernommen.

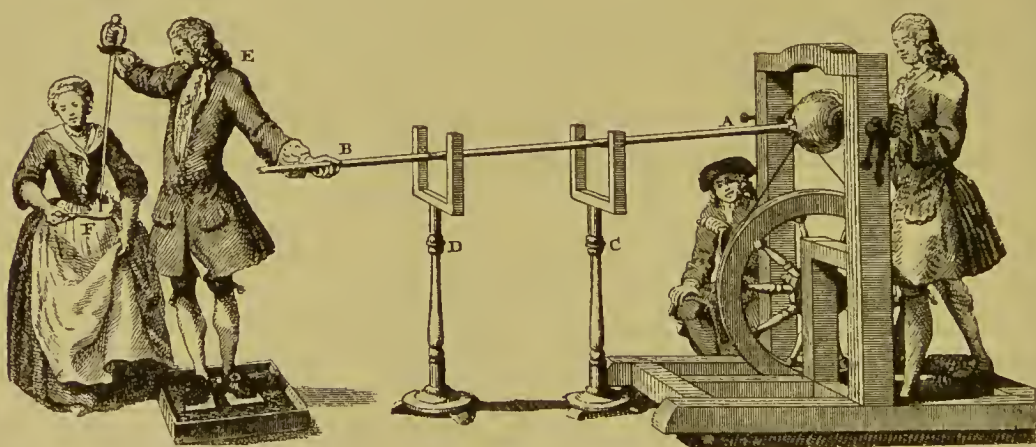


Fig. 319.

Wichtiger war die Änderung, die 1744 der Wittenberger Professor Bose²⁾ mit der Maschine vornahm. Die von ihm verwendete stellt nach

1) Hawksbee, *Physico-mechanical Experiments*. London 1709. S. 17 ff.

2) M. Bose, *Tentamina Electrica*. Wittenbergae 1744.

Desagniliers¹⁾ Fig. 319 vor. Der als Reibzeug dienenden Hand des Experimentators gegenüber befindet sich das aufgeschnittene, mit einem Bündel Fäden versehene Ende *A* der Blechröhre *AB*, ihr anderes Ende *B* hält der auf einem mit Pech gefüllten Kasten stehende Gehülfe *E* in der Hand. Getragen wird die Röhre durch seidene Sehtüre, welche zwischen den gabelförmigen Trägern *D* und *C* aufgestellt sind. In der anderen Hand hielt der auf dem Pech stehende Gehülfe einen Degen, aus dessen Spitze Funken gezogen werden konnten, welche z. B. den in dem metallnen Löffel *F* befindliche Alkohol zu entzünden im stande waren. So tritt uns hier zum erstenmale der gegenwärtig an jeder Elektrisiermaschine angebrachte Konduktor entgegen, bei dem die Spitzen durch die Fäden gebildet wurden und zur Elektrisiermaschine, wie wir sie jetzt benutzen, fehlte nur noch das an der Glaskugel dauernd ruhende Reibkissen.

Dieses fügte noch in dem nämlichen Jahre, 1744, der Leipziger Professor Winkler²⁾ (1703—1770) — oder richtiger der für ihn arbeitende Drechsler Giessing — der Maschine zu, doch benutzte er auch statt der Kugel eine Glasröhre, welche zwischen zwei Stücken Leder oder Wolle

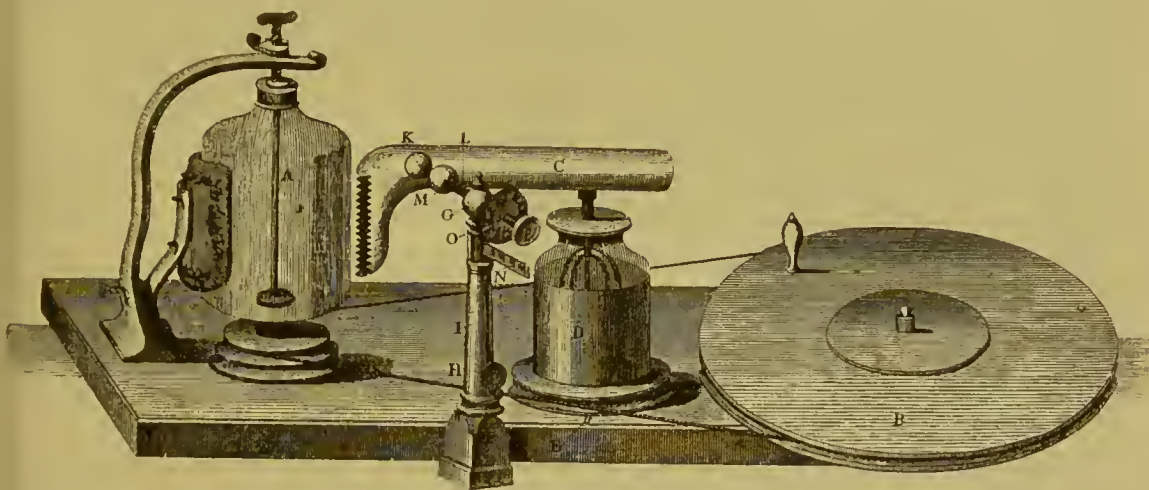


Fig. 320.

hin und her geschoben wurde. Man fand es später vorteilhafter, die Kugel durch einen rotierenden Cylinder zu ersetzen, und so sehen wir ihn an dem elektrischen Apparate, den Lane³⁾ (1734—1807) noch 1766 benutzte und den Fig. 320 darstellt. Der Konduktor hatte bereits Spitzen, wie sie seit etwa 1750 Wilson (1708—1788) verwendete. Das Reibkissen bestand aus Leder, welches nach Cantons⁴⁾ (1718—1772) Vorgang mit Zinn-

1) Desaguliers, A Cours of Experimental Philosophy. Holl. Übers. Vol. II. S. 438.

2) Winkler, Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Elektrizität nebst Beschreibung zweier elektrischer Maschinen. Leipzig 1744. S. 12.

3) Lane, Philosophical Transactions. 1767. Vol. 57. S. 45.

4) Canton, Philosophical Transactions. 1753. Vol. 48.

analgam bestrichen war, an dessen Stelle 1778 Higgins¹⁾ das Zink-analgam empfahl. Wenn sich der rotierende Cylinder nun auch bis in die heutige Zeit erhalten hat, so wurde er doch in den bei weitem meisten Fällen durch eine rotierende Glasseibe ersetzt. Sie führten um 1760 unabhängig von einander Sigaud de la Fond (1740—1810), Planta (1727—1772) und Ingenhousz (1730—1799) ein²⁾; später verfertigte Ramsden (1735—1800) Scheibenelektrisiermaschinen. Die Form, in der wir jetzt die Maschine benutzen, erhielt sie 1783 von Le Roy³⁾ (gest. 1800), nur dass er die Bewegung durch Sehnurlauf beibehielt, auch noch keine Bedeckung mit Taffet oder Seide anwendete. Diese Form zeigt auch die Riesenmaschine von Marum (1750—1837) mit zwei übereinander befindlichen Scheiben, die noch in Taylors Museum in Haarlem aufbewahrt wird.

In dem Maße, wie die Häufigkeit der Anwendung der Maschinen, mit deren Hilfe man Elektrizität hervorrufen konnte, wuchs, erweiterte sich auch die Kenntnis von den elektrischen Erscheinungen. Die frühesten, diesem Zwecke gewidmeten Versuche, diejenigen, deren Ergebnisse Gray⁴⁾ (gest. 1736) 1731 mitteilte, waren noch mit geriebenen Glas- oder Porzellanröhren angestellt worden, die man freilich bis zu 3' 5" lang genommen hatte. Sie waren zunächst nur eine Wiederholung von Guericques Versuchen, ergaben aber, dass die elektrische Kraft durch ein Packseil von sogar 34 Fuß Länge zu leiten war und selbst dann in dem Seile auftrat, wenn sein Ende die Röhre nicht einmal berührte, sondern sich nur in seiner Nähe befand. Er glaubte deshalb den Satz aufstellen zu dürfen, »dass eine immerwährende Anziehungskraft in allen elektrischen Körpern vorhanden sei«. Grays Versuche wiederholte Du Fay⁵⁾, sie teils erweiternd, teils berichtend, und teilte 1734 die erhaltenen Ergebnisse mit. Er hatte gefunden, dass alle Körper, außer Metallen und Flüssigkeiten, wenn man sie erhitzt und mit einem Tuche reibt, elektrisch werden, dass um das nämliche zu erreichen eine Berührung mit, ja sogar nur eine Annäherung an die elektrische Glasröhre genügt, dass der Versuch mit der Leine besser gelingt, wenn man sie nass macht, dass man sie durch den Körper eines auf seidene Schnüre gelegten Menschen ersetzen kann, und dass alle Experimente, die man mit der geriebenen Schwefelkugel anstellen kann, auch mit der Hawksbeesehen Glaskugel gelingen. Die bei dem in Fig. 300 dargestellten Versuche beobachtete Anziehung der Fäden durch die geriebene Glaskugel untersuchte er eingehender und fand, dass der den Fäden genäherte Finger die Fäden abstieß, weil er ebenfalls elek-

1) Higgins, Philosophical Transactions. 1778. Vol. 68. S. 861.

2) Gehlers physikalisches Wörterbuch. III. Leipzig 1827. S. 431.

3) Le Roy, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1783. S. 615.

4) Gray, Philosophical Transactions. 1731. Vol. 37. No. 417. S. 18. — 1732. Vol. 38. No. 422. S. 227 und No. 423. S. 287.

5) Du Fay, Philosophical Transactions. 1734. Vol. 38. No. 431. S. 258.

trisch werde. Namentlich dieser Versuch führte ihn zu der Annahme zweier Elektrizitäten, denen er die Namen der Harz- und Glaselektrizität zulegte. Die Versuche Du Fays setzte 1741 Desagniliers¹⁾ fort und wurde darauf geführt, die Körper in elektrische per se und nicht elektrische per se einzuteilen, Namen, die man später durch die der idioelektrischen und anelektrischen ersetzte. Aneh die Wirkung der Lufttheilchen auf elektrische Körper suchte Desagniliers²⁾ zu ermitteln. Er fand die der feuchten Luft darin, dass die von dem geladenen Körper bewegte Luft die Wasserteilchen »wegtreibt, sobald sie sie elektrisch gemacht hat und dass diese sich und die Lufttheilchen dann abstoßen«.

2. Verstärkungsflasche und Geschwindigkeit der Elektrizität.

Die folgenden Jahre brachten die Erfindung der Verstärkungsflasche durch den Domherrn von Kleist (gest. 1748) und den Leidner Privatmann Cunnacus (1745) und ihre Beschreibung durch van Musschenbroek und Nollet. In ihrer frühesten Form bestand sie aus einem Fläschchen, das zum Teil mit Wasser gefüllt war und in der Hand gehalten wurde. Die Hand bildete die äußere, das Wasser die innere Belegung; ein hineingestellter Nagel machte diese von außen zugänglich. Die kräftigen Wirkungen, welche man mit dem neuen Apparate erhalten konnte, erregten solches Aufsehen, dass man mit ihm nach allen Richtungen hin Versuche anstellte. Da man aber zunächst bei der Anwendung des Wassers als innere Belegung stehen blieb, dieses höchstens durch Feilspäne zu ersetzen versuchte³⁾, so war das Arbeiten mit der Verstärkungsflasche recht unbequem. Erst als Watson (1715—1787) und Bevis⁴⁾ (1695—1771) das Wasser durch Zinnfolie ersetzten, die sie auf die innere Fläche des Glases klebten, wurde diesem Übelstande abgeholfen.

Nun war es möglich, die Bedingungen ihrer Wirksamkeit eingehender zu studieren und so fand 1745 Nollet⁵⁾, dass ihrer Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit wegen nicht alle Glassorten sich gleich gut zur Herstellung von Verstärkungsflaschen eigneten. Am zweckmäßigsten erwies sich blaues mit Zaffer (geröstetem und mit Sand vermengtem Kobalterz) gefärbtes Glas. Winkler⁶⁾ benutzte zu seinen 1753 angestellten Versuchen

1) Desaguiliers, Philosophical Transactions. 1742. Vol. 42. No. 462. S. 14.

2) Desaguiliers, Ebenda. 1742. Vol. 42. No. 464. S. 141.

3) Cöster und Gerland, Beschreibung der Sammlung astronomischer, geodätischer und physikalischer Apparate im Königl. Museum zu Kassel. S. 43.

4) Watson, Philosophical Transactions. 1748. Vol. 45. No. 485. S. 92 ff.

5) Nollet, Ebenda. 1745. Vol. 43. No. 476. S. 420.

6) Winkler, de avertendi fulminis artificio, secundum Eleettricitatis doctriinam commentatio. Lipsiae 1753. Vgl. Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 117.

eine besondere bequeme Form der Flasche. Sie bestand aus einer kugelförmigen Glasflasche von fünf oder mehr Zoll Durchmesser, welche freilich noch mit Messing oder Eisenfeilspänen gefüllt war. Der Hals war mit einem Kork verschlossen, durch welchen ein Metallstab hindurehging. Anstatt der Metallspäne konnte sie auch mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt werden. Sie wurde in ein hohles, halbkugelförmiges, becherartiges Messinggefäß gesetzt, in welches sie vollkommen genau passte. Auch einen Entlader fügte Winkler seiner Flasche zu, ein »Instrumentum brontopoeum«, wie er ihn nannte. Es war ein hohler Schlüssel, wie sie damals allgemein im Gebrauche waren, in dessen Hohlraum ein Holzcylinder mit Handgriff eingesetzt war. Durch eine Kette war der Schlüssel mit dem Messingbecher verbunden und man hatte somit, um die Flasche zu entladen, nur nötig, den ringförmigen Schlüsselgriff dem Metallstabe genügend zu nähern.

Den Beobachtungen Du Fays schien die sonderbare Thatsache zu widersprechen, welche 1759 Symmer¹⁾ (gest. 1763) fand, dass weiße und schwarze seidene Strümpfe, aneinander gerieben, verschiedene Elektrizitäten erhielten. Indessen gelang es bald Nollet, diesen Widerspruch dahin aufzuklären, dass der schwarze Farbstoff der schwarzen, mit der Seide der weißen Strümpfe gerieben, die elektrische Ladung bedinge. Symmers überaus zahlreiche Versuche mit seinen Strümpfen bieten außerdem wenig Neues. Doeh haben sie dadurch eine gewisse Bedeutung erlangt, dass, auf sie gestützt, der englische Forscher sich veranlasst fühlte, die von Franklin aufgestellte Erklärung der elektrischen Erscheinungen aus der Annahme eines Fluidums zu verwerfen und auf die Du Faysche Voraussetzung zweier soleher Fluiden zurückzugreifen. Franklin²⁾ (1706—1790) hatte angenommen, dass die verschiedene elektrische Ladung der Körper in einem Übershusse oder einem Mangel von Elektrizität ihren Grund habe. Im ersten Falle nennt er sie positiv, im zweiten negativ elektrisiert und spricht demgemäß von der positiven und der negativen Elektrizität eines jeden dieser Körper. Da diese Bezeichnung bereits eine gebräuchliche war, so musste sie Symmer als die zweckmäßigste erscheinen. Hatte doeh kurz vor seiner Veröffentlichung Delaval³⁾ (1729—1814) gefunden, dass »erdige Körper (wie Glas oder Steine) beim Elektrisieren plus und die schwefligen minus« würden. Wollte nun auch Symmer nur einen Körper positiv elektrisiert bezeichnen, wenn er mit Hilfe der geriebenen Glasstange in diesen Zustand versetzt, negativ, wenn dies mit geriebenem Schwefel erreicht worden war, so lag es nahe, auch die angenommenen Elektrizitäten selbst als positive und negative zu bezeichnen. Dass

1) Symmer, Philosophical Transactions. 1759. Vol. 51. Pl. I. S. 340.

2) Franklin, Experiments and observations on Electricity made at Philadelphia and communicated in several letters to Mr. Collinson in London. 1751. 3. Brief.

3) Delaval, Philosophical Transactions. 1759. Vol. 51. Pl. I. S. 85.

beide Elektrizitäten auch auf andere Weise und zwar an dem nämlichen Körper hervorgerufen werden können, entdeckte Aepinns¹⁾ 1756 an Turmalinkrystallen. Er fand, dass, wenn er beide Hälften eines solchen verschieden stark erwärmte, die eine positiv, die andere negativ wurde, und rechtfertigte so den Namen Asehtrecker, den der Turmalin längst um dieser ihm erst erklärten Eigenschaft willen trug. Bergman²⁾ (1735—1784) wiederholte 1766 diese Versuche, Aepinns' Beobachtungen erweiternd und bestätigend.

Die in damaliger Zeit ebenfalls angestellten Versuche, die Geschwindigkeit der Elektrizität in einem Drahte zu bestimmen, misslangen aus demselben Grunde, wie die ersten zur Auffindung der Geschwindigkeit des Lichtes, die Entfernungen, welche zur Verfügung standen, waren zu gering. Das war der Fall bei den Versuchen, welche Le Monnier³⁾ (1717—1799) 1746 in Paris, wie bei denen, welche zwei Jahre später Watson⁴⁾ im Beisein der Mitglieder der Royal Society in London anstellte. Seine Versuchsordnung wird aus Fig. 321 ersichtlich. Wie man

sieht, hat mit geringer Abänderung Wheatstone die nämliche Idee seinen Versuchen zu Grunde gelegt. AD ist ein leitender Stab, der an den beiden seidenen Schnüren BB isoliert aufgehängt ist. Seinem einen Ende steht die Kugel H gegenüber, das andere ist mit der inneren Belegung der Leidener Flasche C verbunden. An ihre äußere

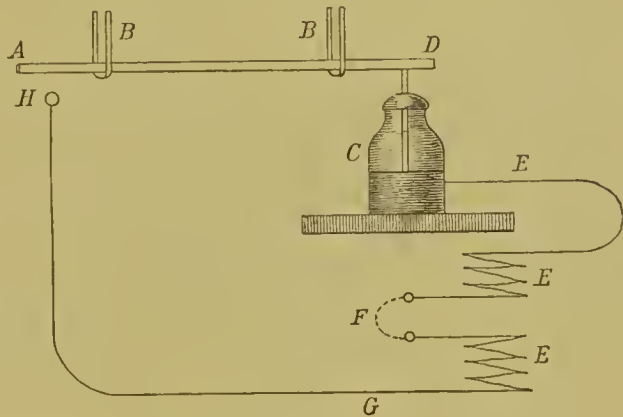


Fig. 321.

ist der Draht EE angeschlossen, an H ein ebenso langer Draht GE . Beider Enden fasst der Beobachter, dessen Körper durch die punktierte Linie F angedeutet ist und sucht den Zeitunterschied zwischen dem Erblicken des Funkens bei H und der auftretenden Erschütterung seiner Arme zu bestimmen. Obwohl die Drähte eine Länge von 12 276 Fuß hatten, so war der Beobachter doch nicht im stande, einen solchen Unterschied wahrzunehmen.

1) Aepinus, Mémoires de l'Académie Royale de Berlin. 1756. S. 105.

2) Bergman, Philosophical Transactions. 1766. Vol. 56. S. 236.

3) Le Monnier, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1746.

4) Watson, Philosophical Transactions. 1748. Vol. 45. No. 485. S. 92.

3. Die Elektrizität im luftleeren Raume. Elektrophor.

Im Jahre 1752 stellte Cavendish¹⁾ Versuche an, welche, wenn auch in anderer Form, bis in die neueste Zeit immer wieder wiederholt wurden und eine immer erhöhte Wichtigkeit gewannen. Sie bezweckten die Leitungsfähigkeit des leeren Raumes für Elektrizität zu untersuchen, und als solcher diente die Torricellische Leere im Barometer. Dazu gab der englische Forscher dem Barometer die Form, die später Erman (1764—1851) zu dem nämlichen Zwecke benutzte. Er nahm ein U-förmig gebogenes Rohr von genügender Länge, füllte es mit Quecksilber, tauchte seine zugehaltenen Enden in isoliert aufgestellte, mit demselben Metall gefüllte Gefäße und nahm den Verschluss weg. Das Quecksilber sank herab und es bildete sich oben im Rohre ein luftleerer Raum. Das eine der isolierten Gefäße wurde nun mit dem Konduktor einer Elektrisiermaschine, das andere mit der Erde in leitende Verbindung gebracht. »Die Elektrizität durchdrang das Vakuum in dem zusammenhängenden Bogen einer leuchtenden Flamme, und soweit das Auge unterscheiden konnte, ohne die geringste Ausstrahlung«. Wohl noch interessanter waren die Ergebnisse, welche Morgan²⁾ (1753—1798) erhielt. Der von ihm hergerichtete Apparat war ein gewöhnliches Barometer, dessen oberer Teil an der Stelle, wo sich die Leere befand, belegt war und mit der Elektrisiermaschine in Verbindung stand, während das Gefäß zur Erde abgeleitet worden war. War das Barometer gut ausgekocht, so fand keine Entladung statt, weil nach des Experimentators Ansicht die Lufttheilehen so weit voneinander entfernt waren, dass sie das elektrische Fluidum nicht mehr transportieren konnten. War dagegen der Apparat nicht völlig ausgekocht, so erschien ein grünes Licht in seiner Leere. Verdünnte in diesem Falle Morgan die in der Barometerkammer noch vorhandene Luft, so wurde das Licht blau, dann indigo, endlich violett und purpurfarbig.

Die Versuche mit der als Franklinsehe Tafel bekannten Form des Verstärkungsapparates hatten Beccaria³⁾ (1716—1781) 1772 darauf geführt, sie mit abnehmbaren Belegungen herzustellen. Der Annahme einer *Electricitas vindex*, auf welche er im weiteren Verfolge seiner Arbeiten kam und welche so wirken sollte, dass die Körper bei ihrer Verbindung ihre Elektrizitäten ablegten, bei ihrer Trennung wieder ergriffen, widersprach aber Volta⁴⁾ (1745—1827) in einem an Priestley gerichteten Briefe und zeigte zugleich, dass eine Harzplatte, auf welche ein leitender Deckel gesetzt wurde, ihre Elektrizität sehr lange behielt. Diese Beobachtung

1) Cavendish, *Philosophical Transactions*. 1752. Vol. 47. S. 371.

2) Morgan, *Ebenda*. 1785. Vol. 75. S. 272.

3) Beccaria, *Dell' Eletticismo artificiale*. Bologna 1772. Vgl. Gehler, *Physikalisches Lexikon*. III. Leipzig 1827. S. 729.

4) Volta, *Collezione dell' opere*. T. I. S. 105.

führte ihn zur Konstruktion seines »Elletroforo perpetuo«, von dem Fig. 322 ein Bild giebt. *AA* ist die leitende Form, *B* der Harzkuchen, *C* der Schild mit dem isolierenden Handgriffe *E*. Die beiden nebeneinander befindlichen Figuren zeigen, wie man die negative Influenzelektrizität des Schildes mit Hilfe einer Kette oder durch Berührung mit der Hand ableiten kann. Den Harzkuchen stellte Volta her, indem er drei Teile Terpentin und einen Teil Wachs einige Stunden lang zusammenkochte und

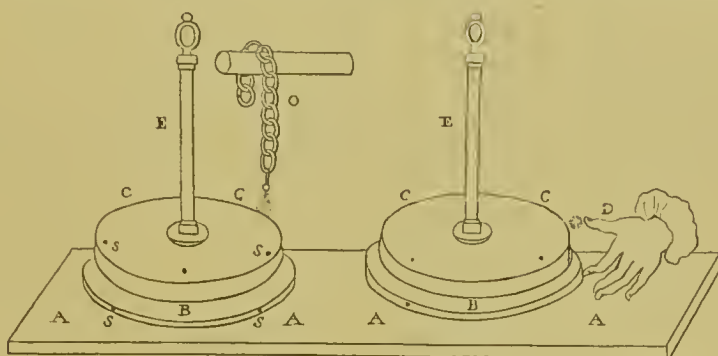


Fig. 322.

dabei, um dem Produkte eine bessere Farbe zu geben, etwas Mennige zusetzte. Doch benutzte er auch statt des Gemisches von Terpentin und Wachs Mastix oder Schellack. Vom Elektrophor zum Kondensator war nur ein Schritt, den Volta¹⁾ that, indem er in jenem den Kuchen durch eine dünne Firnissschicht ersetzte. Er brachte den neuen Apparat, welcher sich als besonders geeignet erwies, schwache Ladungen zu verstärken, dann auch sogleich mit dem Elektroskop in Verbindung.

4. Elektroskop und Elektrometer.

Das Elektroskop war um die Mitte des 18. Jahrhunderts in zwei Formen im Gebrauche, eine horizontale, auf einer Spitze ruhende Metallnadel, wie sie schon Gilbert benutzt hatte, um zu prüfen, ob ein Körper elektrisch sei oder nicht, und zwei am elektrischen Körper befestigte Fäden, welche sich um so stärker abstießen, je kräftiger der Körper elektrisiert war, wie sie Gray und Du Fay verwendeten. Wie der letztgenannte fand, erwiesen sich leinene Fäden für diesen Zweck als besonders geeignet. An sie hing dann, um die Abstoßung zu vermehren, von Waitz²⁾ (1698—1777) zwei Metallplättchen, Canton³⁾ ein paar Kügelchen aus Kork oder Hollundermark, während Henley⁴⁾ (gest. 1779) sein Quadrantenelektrometer

1) Volta, Philosophical Transactions. 1782. Vol. 72. S. 237.

2) von Waitz, Abhandlungen von der Elektrizität und deren Ursache. Berlin 1745.

3) Canton, Philosophical Transactions. 1753. Vol. 48. No. 486.

4) Priestley, Ebenda. 1772. Vol. 62. S. 359.

erhielt, indem er ein leichtes Holzstäbchen mit Korkkugeln drehbar an einem mit Gradbogen versehenen Buchsbaumsäulchen aufhing, so dass das Quadrantenelektrometer als ein spezieller Fall des Elektroskops mit Korkkugeln anzusehen ist.

Den Elektroskopen schloss sich die 1746 von Ellicot¹⁾ angegebene elektrische Wage an, eine ähnliche brachte 1747 Gralath²⁾ (1739—1809) in Vorschlag. Der elektrische Körper wird bei diesem Apparate unter die eine Schale einer Wage gebracht, und die Größe seiner Anziehung auf die Schale durch Gewichte, welche auf die andere gelegt werden, gemessen. Weniger zweckmäßig war die von d'Arcy³⁾ (1725—1779) zu demselben Zwecke verwendete Einrichtung, die ihn mit Hilfe einer Art Aräometer erreichen wollte. Ein zum Teil mit Quecksilber gefülltes Glasgefäß, ein sogenanntes philosophisches Ei, trägt einen Messingdraht mit einem runden Messingplättchen in solcher Weise, dass er aus dem Wasser hervorragt, in welches gebracht, das Ei aufrecht schwimmt. Über das mit Metallrand versehene cylindrische Wassergefäß, in welches es eingesetzt wird, sind kreuzweise zwei Paar Silberdrähte so gespannt, dass der Draht durch das von ihnen gebildete kleine Quadrat hindurchgeht. Elektrisch gemacht, stoßen die Drähte das Plättchen ab und die Größe der Abstoßung lässt auf die Größe der Ladung schließen.

Das Messen einer elektrischen Ladung durch Wägen hat man in der neueren Zeit immer wieder versucht, ohne dass derartige Messapparate zu allgemeiner Anwendung gekommen wären. Um so häufiger wurden die Elektroskope mit den beiden sich abstoßenden Pendelchen angewendet, nachdem Cavallo⁴⁾ (1749—1809) sie in eine Glasflasche eingeschlossen und so die störende Einwirkung der bewegten Luft ausgeschlossen hatte. Denn nun konnte man noch leichtere, die Elektrizität leitende Körperchen anwenden als die bisher benutzten, und als solche wählte Bennet⁵⁾ (1750—1799) 1787 zwei Streifen Blattgold. Er versah einen kurzen und weiten Glascylinder unten mit einer Messingfassung und setzte ihm oben einen weit übergreifenden Messingdeckel auf, der in seiner Mitte die Goldblättchen, etwas seitwärts eine Hülse zum Einsetzen eines Ladungsdrahtes trug. Den Goldblättchen gegenüber waren innen auf das Glas zwei breite Streifen Zinnfolie aufgeklebt, welche, mit dem Messingdrahte in leitender Verbindung stehend, sowohl dazu dienten, den Apparat empfindlicher zu machen, als auch eine etwaige unregelmäßige, nicht sogleich wieder verschwindende Ladung des Glases durch die Blättchen zu verhindern, eine

1) Ellicot, Philosophical Transactions. 1746. Vol. 44. No. 479. S. 96.

2) Gralath, Versuche und Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Danzig. 1747. Th. 1. Nr. 6.

3) d'Arcy, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1749. S. 63.

4) Cavallo, Philosophical Transactions. 1787. Vol. 67. S. 48.

5) Bennet, Ebenda. Vol. 77. S. 26.

Vorsichtsmaßregel, deren Wichtigkeit in neuerer Zeit Faraday wieder betont hat.

Die bisher besprochenen Elektroskope und Elektrometer waren nur für schwache Ladungen zu verwenden, um stärkere, z. B. die einer Leidener Flasche zu messen, gab Lane¹⁾ ein Funkenelektrometer an, dessen vereinfachte Form, die Maßflasche, auch jetzt noch zum eisernen Bestande der physikalischen Kabinette gehört. Es ist in Fig. 320, S. 331, abgebildet und dient in dem dargestellten Falle dazu, die Länge der von der Leidener Flasche *D* gelieferten Funken, deren für einen bestimmten Versuch nötige Anzahl gezählt werden musste, zu geben. Der am Konduktor *C* angebrachten polierten Messingkugel gegenüber steht eine zweite *M*, die mit Hilfe der Schraube *L* vor- und zurückgeschoben werden kann. Der Abstand der Kugeln kann auf der Skala *N* in beliebigen Einheiten und an dem Teilkreise *O* in deren Unterabteilungen gemessen werden. Die Kugel *G* kann durch Verstellen einer in der Holzsäule *I* befindlichen Messingsäule gehoben und gesenkt und in jeder Stellung durch die Schraube *H* gehalten werden, so dass die Kugeln *M* und *K*, die immer gut poliert sein müssen, auch bei verschieden großen Flaschen einander genau gegenübergestellt werden können. Das Funkenmikrometer kann auch auf die Flasche selbst gesetzt und mit ihm die Menge der von ihr aufgenommenen Elektrizität gemessen werden. Schaltet man es in einen Leitungskreis ein, in dem sich ein Körper, der der Einwirkung von Entladungen der Flaschen ausgesetzt werden soll, befindet, so kann man die Stärke und Zahl dieser Entladungen genau bestimmen.

Wenn nun auch das Elektroskop sehr schwache Ladungen zu erkennen, ja zu messen gestattete, so reichte in einzelnen Fällen seine Empfindlichkeit doch noch nicht aus. Deshalb versah es 1787 Bennet²⁾ mit dem Doppler, Doubler oder Duplikator, einer Vorrichtung, deren Zweck es war, mittels Influenzwirkungen eine gegebene Ladung zu verstärken. Der Doppler bestand aus drei Metallplatten, von welchen die eine auf dem Deckel des Elektroskops befestigt wurde. Ihre Oberseite war gefirnisst; auf sie wurde eine zweite Platte gelegt, die auf beiden Seiten, aber nicht am Rande gefirnisst war und eine seitliche isolierte Handhabe trug, auf sie endlich die dritte unten gefirnisste, oben mit isoliertem Handgriff. Um den Apparat zu benutzen, teilte man dem Elektroskop, auf welches die unterste Platte aufgesetzt war, die zu vervielfältigende Elektrizitätsmenge mit, legte die zweite Platte auf und berührte deren ungefirnissten Rand mit dem Finger. Darauf nahm man sie isoliert ab, legte die dritte Platte auf sie auf und berührte deren obere isolierte Fläche ableitend. War das geschehen, so brachte man die zweite Platte auf die am Elektroskop befestigte erste zurück und berührte nun diese mit der dritten, während an

1) Lane, Philosophical Transactions. 1767. Vol. 57. S. 45.

2) Bennet, Ebenda. 1787. Vol. 77. S. 288.

den Rand der zweiten der Finger gelegt wurde. So sollte die ursprüngliche Ladung verdoppelt werden, ohne dass man wie beim Kondensator einer Elektrizitätsquelle bedurfte, welche fortwährend neue Elektrizität zu liefern im stande war. Wenn gegen diese Verdoppelung der Ladung vom theoretischen Standpunkte nun auch nichts eingewendet werden konnte, so erhielt Cavallo¹⁾, als er die Wirkung des Dopplers untersuchte, doch nur ungenauere Ergebnisse, weil durch die Reibungen der Firnissschichten aneinander oder durch die Berührung mit dem Finger neue Elektrizität erzeugt wurde. Er suchte deshalb die Firnissschichten durch Luftschichten zu ersetzen, indem er die drei Platten senkrecht vor einander aufstellte. Aber auch so gelang es ihm nicht genauere Resultate zu erhalten, das Instrument zeigte immer Ladungen an, welche die Platten zurückbehalten hatten. Er änderte deshalb den Apparat dahin ab, dass er eine senkrecht auf Glasfüßen aufgestellte Zinkplatte dauernd mit dem Elektroskop, vorübergehend mit der Elektrizitätsquelle verband, auf deren beiden Seiten aber zwei um Scharniere drehbare Holzplatten anordnete, deren der Zinkplatte bei ihrer aufrechten Lage zugewendeten Seiten mit Zinnfolie überzogen waren.

Die Handhabung auch dieses Apparates war recht unbequem und die Notwendigkeit der verschiedenen Berührungen seiner Platten gab zu öfteren Irrungen Anlass. Deshalb konstruierte in dem nämlichen Jahre 1788 Nicholson²⁾ (1753—1815) einen Doppler, bei dessen Gebrauch nur eine Kurbel zu drehen war, während dabei die notwendigen Berührungen ohne weiteres Zuthun des Beobachters von selbst eintraten. Diesen Doppler zeigt

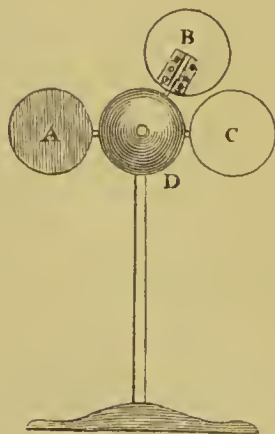


Fig. 323.

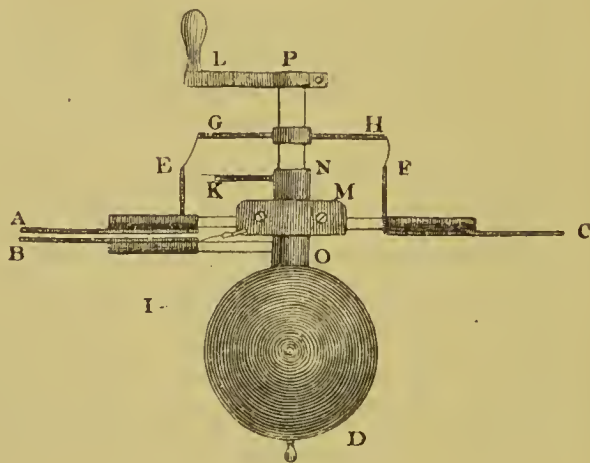


Fig. 324.

Fig. 323 in der Vorderansicht, Fig. 324 im doppelten Maßstabe im Grundrisse. Eine $6\frac{1}{2}$ Zoll engl. hohe Glassäule trägt das Lager M der Achse PO,

1) Cavallo, Philosophical Transactions. 1788. Vol. 78. S. 255.

2) Nicholson, Ebenda. 1788. Vol. 78. S. 403.

deren Hälfte ON aus Messing, deren andere Hälfte NP aus Glas besteht und welche durch die an der letzteren befestigte Kurbel L von 2 Zoll Durchmesser in Drehung versetzt werden kann. Mit der Achse dreht sich die isolierte Messingplatte B , während die gleichfalls isolierten Platten A und C feststehen. Jede dieser Platten hat 2 Zoll im Durchmesser und ist mit Adjustiervorrichtungen, die die Platten genau parallel zu stellen gestatten, versehen, so dass B vor A und C gerade vorbei geht, ohne sie zu berühren. Als Gegengewicht für die bewegliche Scheibe dient die Kugel D ; sie ermöglicht, dass B in jeder Lage stehen bleiben kann. Die festen Scheiben tragen die Bolzen E und F , welche aus ihnen in ungleichem Abstand von der Achse hervorragen. Das Krenzstück GH und der Arm K liegen in einer Ebene, drehen sich aber ebenfalls mit der Achse. An ihrem Ende sind kurze federnde Drähte so befestigt, dass sie in bestimmten Lagen die Bolzen E und F mit Sicherheit berühren. Ein ebensolcher Draht I setzt die Achse und ihr Lager mit der beweglichen Platte in bestimmten Stellungen in Verbindung. Die Drähte GE und NF aber sind so gebogen, dass in dem Augenblick, in dem die rotierende Platte sich vor der festen A befindet, das Krenzstück GH die beiden festen Platten in Verbindung setzt, während zugleich der Draht I sich an B legt und mit ihm die Kugel verbindet, in dem Augenblicke aber, in welchem B vor C steht, K mit F und C in Berührung kommt, während die Platten A und B mit keinem Teile des Apparates leitend verbunden sind. In jeder anderen Lage sind die Platten und die Kugel von einander isoliert.

Die Wirkungsweise des Apparates ergibt sich somit ohne Schwierigkeit folgendermaßen. Hat die Kugel D in der in Fig. 324 gezeichneten Lage eine schwache Ladung bekommen, so verbreitet sich diese über B und bewirkt eine fast ebenso starke Ladung auf A von ungleichnamiger, von C mit gleichnamiger Elektrizität. Wird dann B um 180° gedreht, so stößt seine Ladung die von C ab und treibt sie in die Kugel D , von wo sie bei abermaliger Drehung von 180° auf die Ladung von B verstärkend wirkt, dadurch wieder die Ladung von A vergrößert u. s. w. Durch mancherlei Apparate der Neuzeit hat Nicholsons Doppler wieder an Interesse gewonnen. Für genaue Messungen, bei welchen anfangs die Elektrizitätsquelle, später das Elektroskop mit der Kugel D verbunden wird, erwies er sich nicht tanglich.

Auch die Apparate, mit deren Hilfe Waitz und später Achard¹⁾ (1753—1821) aus dem Gewicht und dem Ablenkungswinkel eines nach Art des Henleyschen Quadranten an einer Messingsäule aufgehängten Kugel von Metall oder Meerscham die elektrische Abstoßung mit dem

1) Achard, Beschäftigungen der Berliner Gesellschaft naturforsch. Freunde. T. I. Berlin 1775. S. 53. Vgl. Gehler, physikalisches Wörterbuch. III. Leipzig 1827. S. 651.

Zug der Schwerkraft vergleichen wollten, gaben keine zuverlässigen Resultate. Als demnach Coulomb¹⁾ (1736—1806) in der ersten Hälfte der achtziger Jahre des 18. Jahrhunderts die Gesetze der elektrischen Fernwirkung aufstellen und prüfen wollte, musste er sich erst Messapparate konstruieren, welche für diesen Zweck die nötige Genauigkeit besaßen. Er maß die Größe der Abstoßung oder Anziehung zweier elektrischer Kugeln mit Hilfe der Kraft, mit der ein tordierter Draht in seine

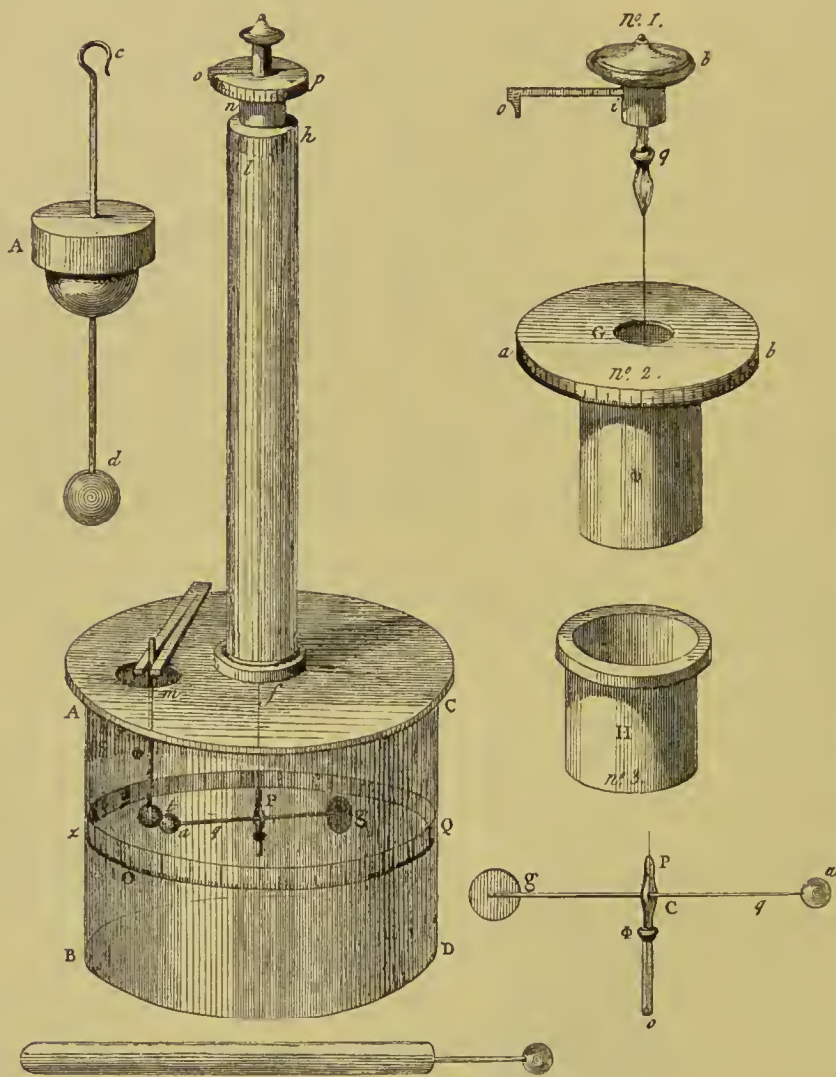


Fig. 325.

Gleichgewichtslage zurückzugehen strebt. Das Instrument, welches er zu diesem Zwecke benutzte, war die Drehwaage, die namentlich in den Händen von Rieß und mit einiger Veränderung in denen von R. Kohlrausch ein so nützliches Instrument geworden ist, und welches Fig. 325 vor Augen führt. Wir können auf seine nähere Beschreibung hier verzichten, da der Apparat auch jetzt noch fast genau in der ihm von seinem Erfinder

1) Coulomb, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1784. S. 229, 1785. S. 569.

gegebenen Form benutzt wird. Ließen sich mit ihm durch die Größe der Torsion, welche zur Herstellung gleicher Ablenkungswinkel bei verschiedenen großen Ladungen notwendig war, die von ihnen ausgeübten Wirkungen messend verfolgen, so konnten auch in mechanischem Maß die Torsionskräfte gefunden werden, wenn die Nadel *ag* in Schwingungen versetzt und die Schwingungsdauer beobachtet wurde.

5. Die Luftelektrizität.

Die Drehwage hat sich später auch als vortrefflich geeignet zur Untersuchung der Luftelektrizität erwiesen; doch stellte man Beobachtungen, die deren Größe zu finden zum Zwecke hatten, bereits auch vor ihrer Erfindung an. Die dazu dienenden Apparate haben wir nun noch zu betrachten.

Dass die Luft stets elektrisch ist, hatte wohl als der erste bereits 1752 Le Monnier¹⁾ erkannt, zwei Jahre, nachdem Franklin den Blitzableiter vorgeschlagen hatte, in demselben Jahre, in welchem Franklins Ideen durch Versuche, die man in Frankreich anstellte, bestätigt worden waren. Die Spitzenwirkung des Blitzableiters, die elektrische Natur des Gewitters wurden so nachgewiesen und man beschäftigte sich überall mit dem Beobachten und dem Studium der Luftpotelektrizität, legte überall unterbrechbare Blitzableiter an und

so konnte es nicht ausbleiben, dass diese gelegentlich auch Unglück anrichteten. Es ist bekannt, dass auf diese Weise der Petersburger

Akademiker Riehm, der sich eingehend mit solchen Versuchen beschäftigte²⁾, 1753 sein Leben verlor. Seine Apparate und seinen Tod hat Winkler³⁾ ausführlich geschildert.

Die Einrichtung, die

Riehmann zur Beobachtung der Luftelektrizität benutzte und die er den »Gnomon Electricitatis« nannte, war die in Fig. 326 dargestellte. Die Kette *A* ging zu der Zuleitungsstange, einem vier oder fünf Fuß über den Dach-

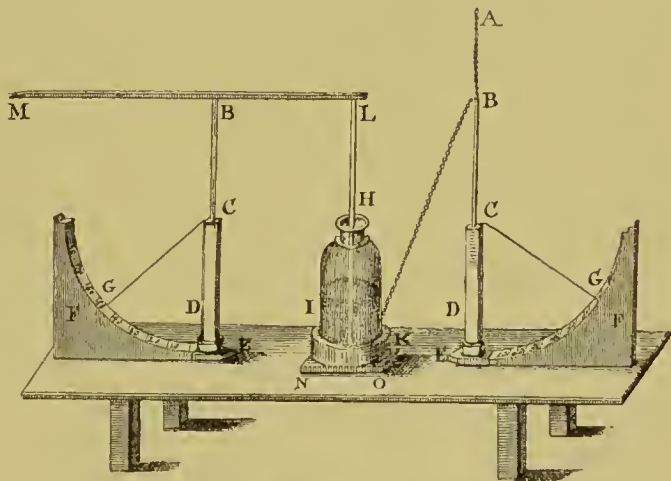


Fig. 326.

1) Le Monnier, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1752.

2) Richmann, Novi Commentarii Petropol. IV ann. 1752 et 1753. S. 310.

3) Henr. Winkleri, De avertendi fulminis artificio, secundum Electricitatis doctrinam commentatio. Lipsiae 1753. Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 117.

first emporragendem eisernen Stabe. Um ihn isoliert durch das Dach hindurchzuführen, war er mittels eines Korkes in den Hals einer Flasche befestigt, deren Boden durchbohrt war. Durch ihn ging die Stange hindurch, während die Flasche mit den Ziegeln fest verbunden war. Die am unteren Ende der Stange befindliche Kette führte zu einem Metalldraht CB , welcher auf dem Metallstab CD befestigt war. Dieser Stab stand in dem mit Feilspänen gefülltem kleinen Glasgefäße E , den an seinem oberen Ende befestigten linnenen Faden CG stieß er ab, sobald ihm die Kette AB Elektrizität aus der Luft zuführte. Das Ende G des Fadens bewegte sich dabei über die an dem Brette H angebrachte Gradeinteilung und der an dieser abgelesene Ablenkungswinkel ließ demnach auf die Stärke der Ladung und damit der sie bewirkenden Lufterlektrizität schließen.

Diese Beschreibung bezieht sich auf den in Fig. 326, S. 343, rechts gezeichneten Apparat, zuweilen benutzte Richmann aber auch den links dargestellten. Dabei wurde die Anfangstange mit der äußeren Belegung einer durch die Glasseheibe NO isolierten Leidener Flasche HK in Verbindung gebracht, während deren innere Belegung durch den Stab HL an die horizontale Metallstange ML angeschlossen wurde, die wiederum mit dem Drahte BC und der den linnenen Faden CG tragenden Säule CD verbunden wurde. Einen derartigen Gnomon benutzte Richmann, wenn ein Gewitter am Himmel stand. Er erhielt dann viel stärkere Wirkungen wie sonst.

Als am 26. Juli 1753 ein solches über Petersburg hinzog, war Richmann in Gesellschaft des Akademikers Sokolow mit seinen Beobachtungen beschäftigt. Da sah der letztere, wie Winkler berichtet, aus dem Stab CD des rechten Gnomon »einen bläulichen, faustgroßen Feuerball gegen die Stirn Richmanns heraustreten, welcher in einem Abstand von einem Fuß von dem Stab mit den Augen den Elektrizitätszeiger verfolgte. Der Schlag durchbohrte Richmann, indem ihm ein Knall, wie der einer kleineren gewöhnlichen Büchse begleitete. Der Metallstab BC wurde zerissen, seine umhergeschleuderten Teile brannten in Sokolows wollene Kleidung durch die aufgenommene Hitze Streifen von der Breite des Metalldrahtes. Von dem Glasgefäße E wurde die eine Hälfte abgeschlagen und die Metallspäne stoben umher. Hiernach ist es klar, dass die Gewalt des Blitzes in dem rechten Stab CD , welcher im Glasgefäße E in den Metallspänen stand, vereinigt gewesen war.«

Nachdem man so in erschreckender Weise auf die große Gefahr, die solche Versuche mit sich bringen konnten, aufmerksam geworden war, bemühte man sich Apparate herzustellen, die gefahrlos die so wichtigen Beobachtungen machen ließen. Fig. 327 zeigt den Apparat, den Winkler¹⁾ zu diesem Zwecke baute. Er nahm zwei trommelförmige aus Blech gefertigte Gefäße AB und CD , an deren Deckeln Eisenstäbe befestigt waren, welche an dem Joche IK hingen. Mittels des in seiner Mitte befindlichen

1) Winkler, Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 130.

gebogenen Stückes GH war dieses an der senkrechten Säule EF befestigt. Wie die Durchschnichtsfigur 328 zeigt, war der mittlere Teil der Trommeln hohl und in ihnen an seidenen Fäden ein Fischbeinstab so aufgehängt, dass er mit den Trommelwänden nicht in Berührung kommen konnte. Die den Trommeln aufgesetzten Deckel verhinderten, dass Regen in sie eindringen konnte, denselben Zweck hatte der Ansatz ef , durch den der Fischbeinstab hindurehging. Der letztere war allseitig zwei Zoll von den Wänden des Ansatzes ef entfernt. An die Stäbe ist der Metallstab LM in solchem Abstände von den Trommeln angeschraubt, dass eine Berührung zwischen beiden nicht stattfinden kann. Am Ende L des Stabes ist eine Metalltafel zum Auffangen von Regentropfen angebracht. »Am Ende¹⁾ M befindet sich eine kleine Säule po , welche hin und her bewegt und durch eine Schraube befestigt werden kann. Sie ist hohl und in ihr befindet sich ein Metallstift mit rundem Kopf, welcher auf und nieder zu bewegen und ebenfalls mit einer Schraube festzustellen ist. An die Trommel CD ist ein gebogener Metallstift mit abgerundetem Ende DN in horizontaler

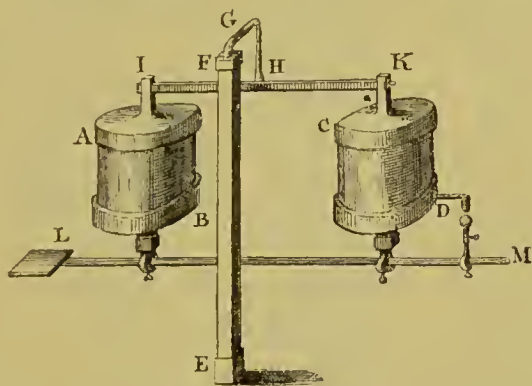


Fig. 327.

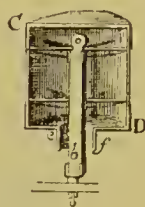


Fig. 328.

Lage befestigt, unter welchem die Säule po ihren Platz erhält, indem ein bestimmter Zwischenraum zwischen beiden bleibt. Dies Instrument muss, wenn es zur ungefährlichen Beobachtung der atmosphärischen Elektrizität dienen soll, unter freiem Himmel fern von menschlichem Getriebe und menschlichen Gebäuden an einem derart sichtbarem Orte aufgestellt sein, dass der Beobachter aus der Ferne, sei es mit bloßen, sei es mit dem Fernrohr bewaffneten Augen den Abstand zwischen N und o beobachten kann. Denn aus dieser Beobachtung ist das elektrische Feuer zu erkennen, wenn der Stab LM von der durch die Luft zerstreuten elektrischen Materie geladen wird«. Der Beobachter hatte also auf die hier auftretenden Funken zu achten. Die Anwendung der Platte L aber deutet darauf hin, dass Winkler den Regen für elektrisch, vielleicht für den Träger der zur Erde strebenden Wolkenelektrizität hielt.

1) Winkler, Nova Acta Eruditorum. 1755. S. 130. Die Buchstaben p und o des Textes fehlen in der Figur; sie gehören an die beiden Enden der auf LM verschiebbaren, D gegenüber festzusetzenden kleinen Säule.

Der Magnetismus um die Mitte des 18. Jahrhunderts.

In den ersten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts war man auf die natürlichen Magnete angewiesen, wenn man mit starken Magneten arbeiten wollte, Mittel zur Herstellung künstlicher besaß man noch nicht. Die natürlichen Magnete standen deshalb hoch im Preis. So zahlte 1716 der Landgraf Karl von Hessen an Hartsoeker für einen natürlichen Magneten von $\frac{1}{2}$ Lot Gewicht, welcher 1 Pfund und 1 Lot Eisen trug, 100 Gulden rhein.¹⁾ und derselbe Hartsoeker klagte dem ihn 1711 besuchenden Frankfurter Ratsherrn von Uffenbach²⁾, »dass die Magnete so theuer seyen, er habe durch seinen Sohn in Paris zwey tausend Gulden auf ein roh Stück bieten lassen, so kaum die Helfte so groß als seine Faust, man wolte aber drey tausend haben«. Unter diesen Umständen war es begreiflich, dass man nach Methoden suchte, mit Hilfe natürlicher Magnete kräftige künstliche zu erhalten und eine solche fand zuerst Servington Savery³⁾, der die Art des Magnetisierens durch einfachen Strich im Jahre 1730 angab, eine Methode, die bereits Gilbert erwähnt hatte, die aber später wieder in Vergessenheit geraten war. Saverys Magnete wurden aber an Stärke weit von denen übertroffen, welche Knight⁴⁾ (gest. 1772) 1744 und 1745 der Royal Society vorlegte. Wie er sie erhalten hatte, hielt er freilich sorgfältig geheim und erst 1779 teilte Wilson⁵⁾ darüber mit, dass Knight den zu magnetisierenden Stahlstab auf zwei stark magnetisierte andere legte, welche die ungleichnamigen Pole gegeneinander kehrten und dann diese langsam voneinander entfernte. Auch verfertigte er nach Angabe desselben Gewährsmannes künstliche Magnete im eigentlichen Sinne des Wortes, indem er sie aus einer Paste von Eisenfeilspänen formte und diese magnetisierte.

Die Methode Knights war also noch nicht die des doppelten Striches. Diese schlugen unabhängig voneinander 1750 Canton und Michell (gest. 1793) vor. Canton⁶⁾ legte die zu magnetisierenden Stäbe nebeneinander und verband ihre Enden durch Querstücke von Eisen. Über sie führte er zwei durch eine dazwischen gelegte Stecknadel getrennte Magnetstäbe, die mit entgegengesetzten Polen gegen sie gerichtet waren, indem er sie zuerst über den einen der zu magnetisierenden Stäbe, dann über den anderen

1) Akten des Königl. Museums zu Kassel. Vgl. Cöster und Gerland, Beschreibung u. s. w. S. 42.

2) v. Uffenbach, Merkwürdige Reisen durch Niedersachsen, Holland und Engelland. Frankfurt und Leipzig. 1753. Bd. III. S. 730.

3) Savery, Philosophical Transactions. 1730. Vol. 36. No. 414. S. 295.

4) Knight, Ebenda. 1744. Vol. 43. No. 474. S. 161 und 1745. Vol. 43. No. 476. S. 361.

5) Wilson, Ebenda. 1779. Vol. 69. S. 51.

6) Canton, Ebenda. 1752. Vol. 47. S. 31.

hin und her schob und dann seitwärts abzog. Mittels des einfachen mit zwei Magneten ausgeführten Striches suchte er dann die magnetisierten Stäbe noch zu verstärken. Die ersten noch schwachen Magnete erhielt Canton mit Hilfe des Erdmagnetismus, indem er sie an eine vertikal gestellte Eisenstange band und mit einer anderen ebenso so gehaltenen rieb.

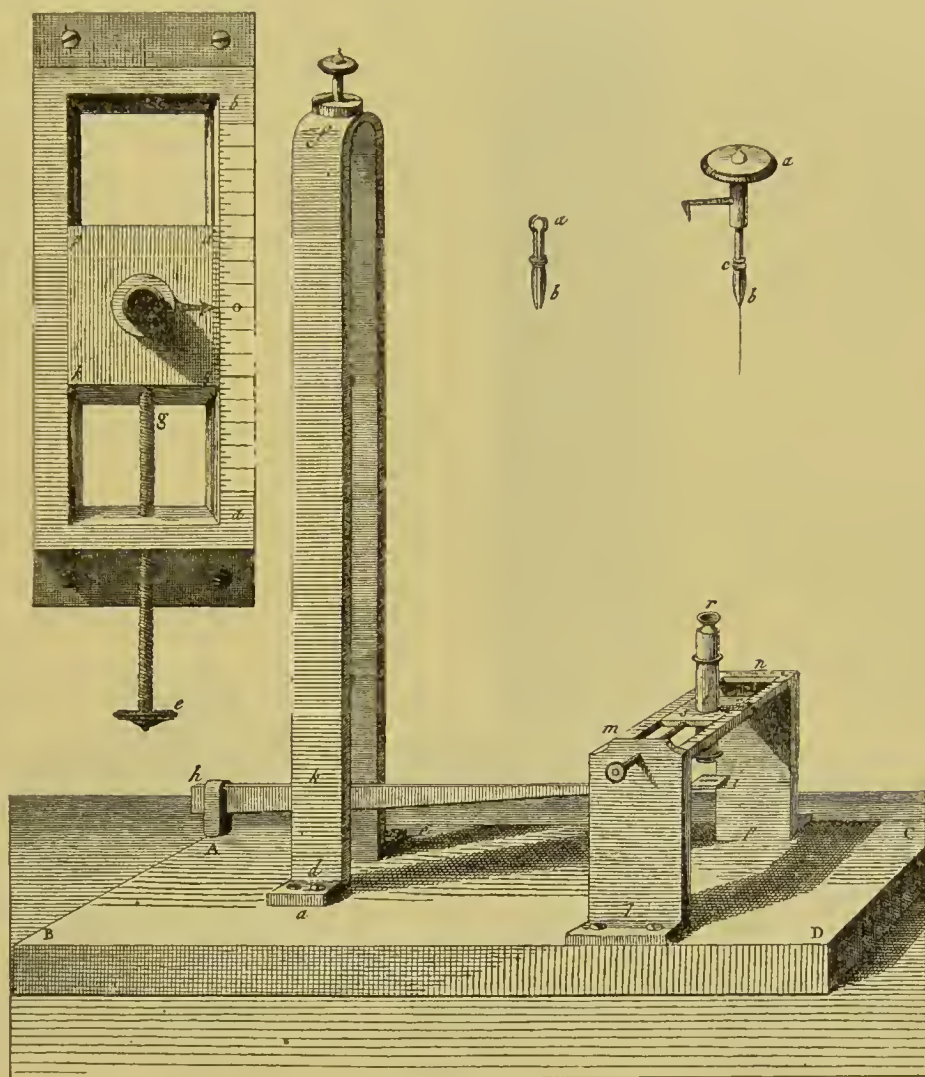


Fig. 329.

Michell¹⁾ magnetisierte eine Anzahl dünner Stäbe, nachdem er sie der Länge nach aneinander gereiht hatte, durch Streichen mit zwei Magneten, deren entgegengesetzte Pole durch ein dazwischen gelegtes Stückchen Holz getrennt waren. Da er dabei beobachtete, dass die in die Mitte gelegten Stäbe stärker magnetisch wurden, wie die, welche sich näher an den Enden befunden hatten, so magnetisierte er diese nochmals, während er die an-

1) Michell, A treatise on artificial magnets. Cambridge 1750.

deren an die Enden legte, sie aber nicht mehr strich. Er fasste sie dann zu mehreren zu einem Magneten zusammen.

So hatte man gelernt, starke Magnete herzustellen. Es ergab sich nun die Aufgabe, die Gesetze ihrer Abstoßung und Anziehung in ähnlicher Weise wie man die der elektrischen erhalten hatte, zu finden. Wieder war

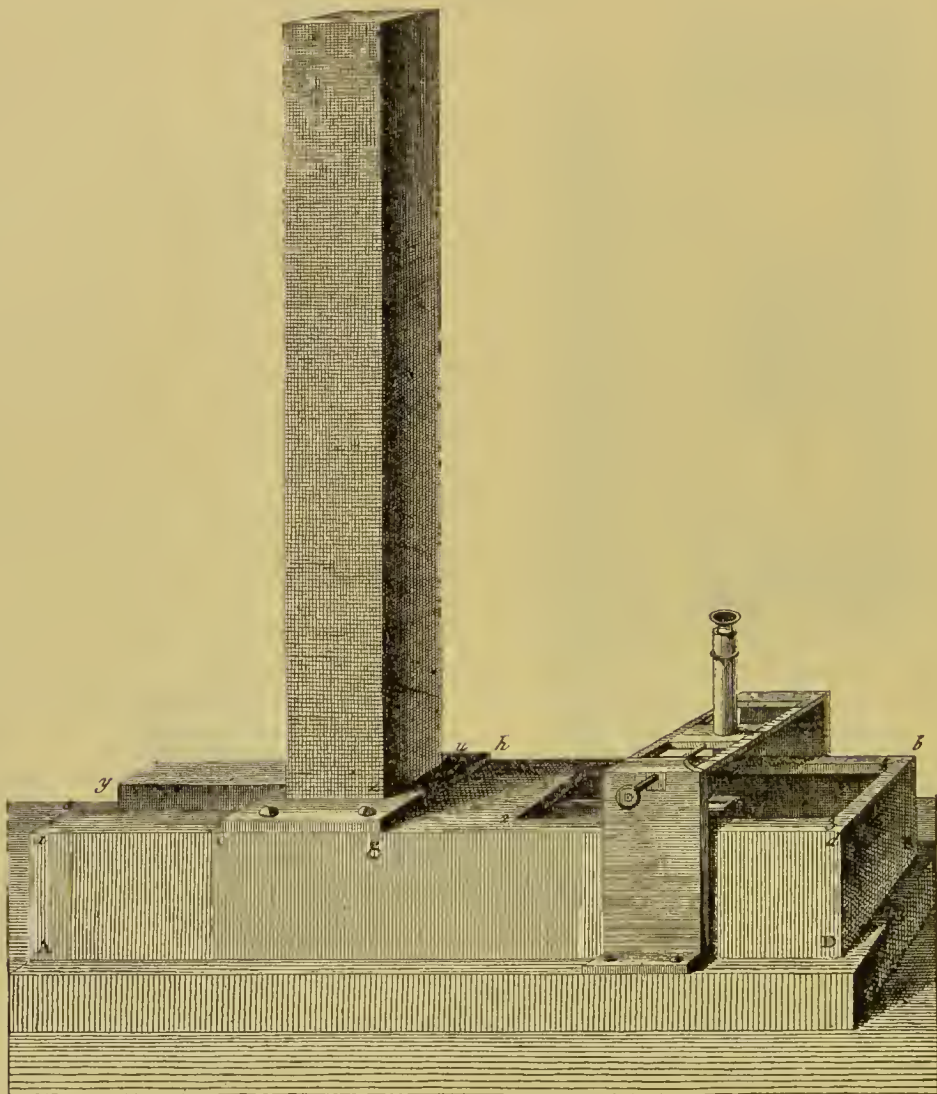


Fig. 330.

es Coulomb¹⁾, der diese Aufgabe löste. Indem er sich dazu der Drehwage in etwas vereinfachter Gestalt bediente, zeigte er, dass dies Gesetz dieselbe Form hatte, wie das die Wirkung elektrischer Körper aufeinander gebende.

Doch blieb er dabei nicht stehen, sondern stellte auch Versuche an zur Ermittlung der Änderungen der Deklination, wie man nun die Variationen

1) Coulomb, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1785. S. 578.

der Magnetnadel nannte. Den dazu dienenden Apparat¹⁾, das erste Magnetometer, führen die Figg. 329, S. 347, und 330, S. 348, vor Augen. Die erstere zeigt die Teile des Apparates, die letztere ihn mit den Umhüllungen, in welche jene zur Abhaltung der Luftströme gesetzt werden. Der Magnetstab *hi* ist an einem Seidenfaden an dem Bügel *fa* in derselben Weise aufgehängt, wie der der Drehwage. Die beiden Teile sind ungleich, der kürzere breiter und mit einem Laufgewicht *A* versehen, dessen Verschiebung seine genaue horizontale Aufstellung ermöglicht. Der längere Teil trägt bei *i* eine Scheibe mit einer Marke, über der das mittels einer Mikrometerschraube senkrecht zum Stab verschiebbare Mikroskop *rl* so aufgestellt ist, dass die Marke sich unter dem Fadenkrenz befindet. Die der Fig. 329 zugefügte Nebentigur links zeigt das Mikroskop vergrößert im Grundriss. So ließ sich die Stellung der Achse des Magneten und daraus der Ablenkungswinkel von einer bestimmten Anfangslage aus, die in der Nebentigur mit *o* bezeichnet ist, finden.

Die meteorologischen Stationen am Ende des 18. Jahrhunderts.

Wie wir bereits mehrmals erwähnten, hatten die Accademia del Cimento und die Royal Society es unternommen, gleichzeitige meteorologische Beobachtungen an verschiedenen Orten anstellen zu lassen. In ähnlichem Sinne hatte Leibniz zu wirken gesucht. Aber man hatte sich auf Temperatur- und Luftdruckbeobachtungen beschränkt, und nennenswerte Erfolge hatten diese Bestrebungen nicht aufzuweisen. Seitdem waren Messapparate auch für die übrigen meteorologischen Elemente angegeben. Nahm man jetzt jene Pläne wieder auf, so durfte man hoffen, ein viel vollständigeres Material zu erhalten. Es ist das Verdienst Lamberts²⁾, von neuem auf den großen Nutzen, den solche korrespondierenden Beobachtungen stiften konnten, hingewiesen zu haben. Seine Anregung suchte 1778 der Karlsruher Professor Boeckmann³⁾ (1741—1802) Folge zu geben. Aber wenn er auch Beobachtungen von vielen Orten Deutschlands bekam, so gelang es ihm noch nicht, sie nach einem Plane zu verarbeiten und zu veröffentlichen, und so war von solchen gleichzeitigen Beobachtungen für die Wissenschaft erst Nutzen zu erhoffen, als 1780 der Kurfürst Carl Theodor von der Pfalz, der seit 1763 in Mannheim bestehenden Akademie der Wissenschaften eine meteorologische Klasse zufügte⁴⁾ und sie mit Instrumenten ausrüstete, die in damaliger Zeit die besten ihrer Art waren. Die

1) Coulomb, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1785. S. 568.

2) Lambert, Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale de Berlin. 1771. S. 60 ff.

3) Boeckmann, Wünsche und Ansichten zur Erweiterung und Vervollkommnung der Witterungslehre. Karlsruhe 1778.

4) Traumüller, Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft. Leipzig 1885. S. 2 ff.

Akademie suchte durch Zusendung solcher Apparate an deutsche und außerdeutsche Orte neue Stationen zu errichten und erhielt so Beobachtungen von 39 anderen Stationen, die sie in ihren Ephemeriden von 1783 an veröffentlichte. Die Belagerung Mannheims durch die Franzosen machte ihrer Thätigkeit ein Ende. Doch bildeten die in zwölf Quartbänden niedergelegten Beobachtungen bis in die erste Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts die einzige Quelle zuverlässiger und vergleichbarer meteorologischer Beobachtungen¹⁾.

Für uns haben nur die dafür verwendeten Instrumente Bedeutung. Barometer und Thermometer bieten nichts besonderes. Als Hygrometer diente

ein De Lucsesches Instrument, dessen Elfenbeincyliner Retzius²⁾, nach anderen Buisart³⁾ durch die Spule einer Gänsefeder ersetzt hatte. Das Anemometer bestand nur aus einer Windfahne; einen Windstärkemesser, dessen Angaben genau genug gewesen wären, hatte der Leiter der meteorologischen Section, der Hofkaplan des Kurfürsten, Hemmer, nicht ausfindig machen können. Vom Regenmesser giebt Fig. 331 ein Bild. Er bestand aus einem Messinggefäße *AB* von 2 Fuß Länge, 2 Fuß Breite und 6 Zoll Tiefe, dessen Innenraum eine flache vierseitige Pyramide bildete. Das hineinfallende Regenwasser floss durch die Bleiröhre *fg* in das würfelförmige Sammelgefäß *Q* und dann allmählich aus der Öffnung *p* in das ebenso gestaltete Messgefäß *R*, das einen Inhalt von 27 Kubikzoll hatte. Es befand sich innerhalb des Gebäudes und seine Innenflächen waren von unten nach oben in Pariser Linien geteilt. Als Verdunstungsmesser benutzte die Gesellschaft anfangs den in Fig. 332 abgebildeten Apparat, dessen Abbildung sie jedoch ohne Beschreibung veröffentlichte. Offenbar sollte der senkrechte Maßstab, den die Schraube *fx* bewegte, die ganzen, die Teilung des Schraubenkopfes die Unterabteilungen des Maßes geben. Später wandte

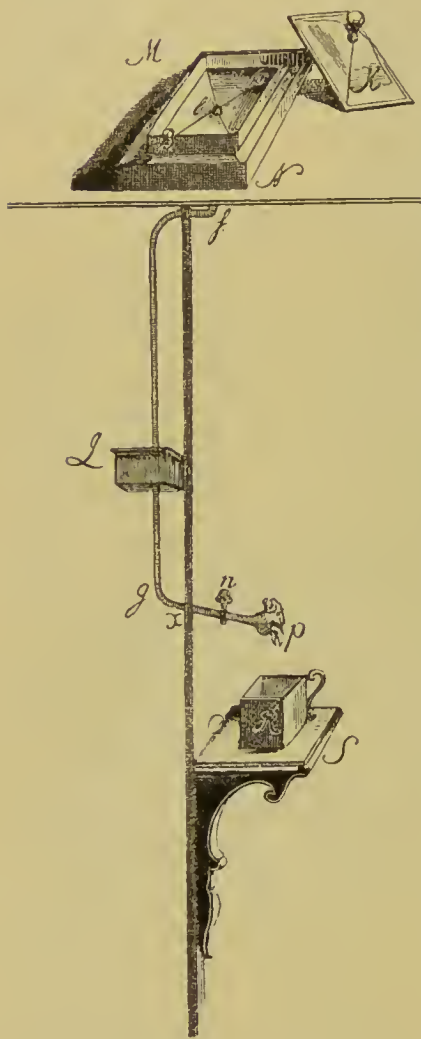


Fig. 331.

sie den in Fig. 333 wiedergegebenen Apparat an, ein würfelförmiges Gefäß aus Messing, in dessen einer Fläche eine Glasseibe eingesetzt war.

1) Traumüller, Die Mannheimer meteorologische Gesellschaft. Leipzig 1885. S. 44.

2) Retzius, *Météorologie appliquée à la médecine et à l'agriculture*.

3) Copineau, *Journal de Physique*. 1780. T. 15.

Neben dieser war als Maßstab eine in Zoll und Linien geteilte Messingplatte und ein mit Hilfe einer Schiene verschiebbarer Nonius angebracht.

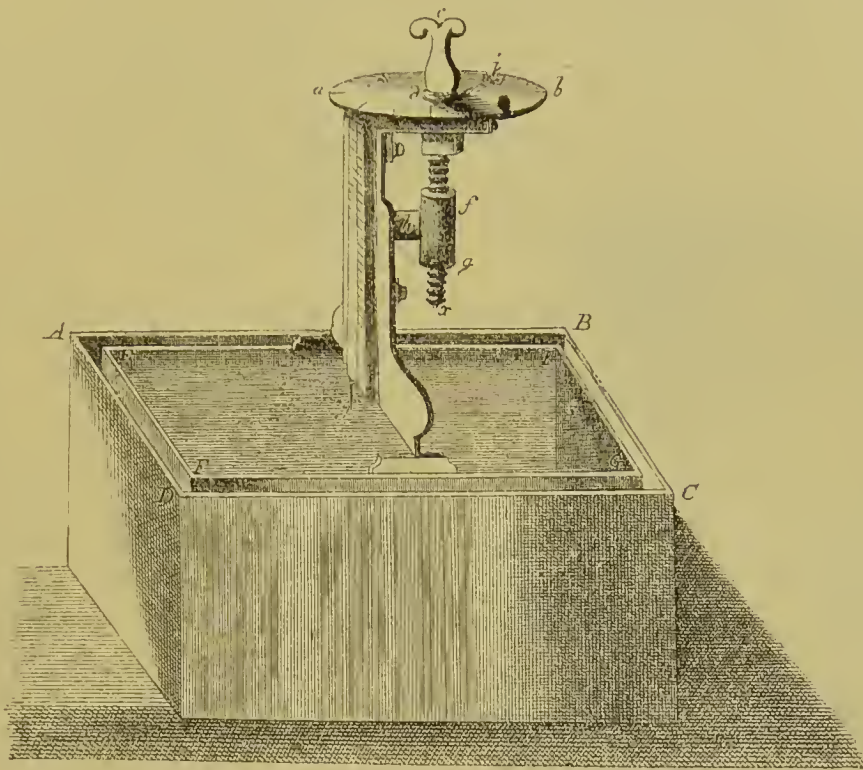


Fig. 332.

In das Gefäß wurde reines Regenwasser von der Temperatur der Luft gegossen, die während eines Regens hinzugekommene Wassermenge mit dem Regenmesser bestimmt.

Auch für magnetische und elektrische Messungen waren Apparate vorgesehen. Das von Brander in Augsburg verfertigte Deklinatorium giebt Fig. 334. Die von einer feinen Stahlspitze getragene Magnetsnadel befand

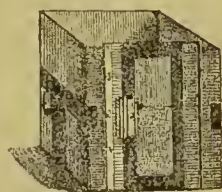


Fig. 333.

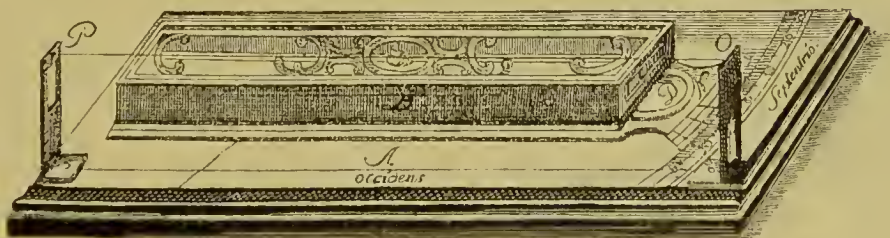


Fig. 334.

sich in dem mit Glasdeckel versehenen Kästchen B, welches sich um seine Achse drehen ließ. Um die Größe der Drehung zu messen, war auf der

Bodenplatte *A* eine Kreisteilung angebracht, auf der als Limbus eine mit dem Kästchen den Nonius tragende Alhidade *N* sich hin bewegte. Die Diopter *P* und *Q* ließen die Richtung des Meridians bestimmen. Um die Deklination zu erhalten, brachte man nur das Kästchen *B* zu drehen, bis

eine in seine Mitte gezogene Linie gerade unter die Nadel zu liegen kam und den Stand des Nonius abzulesen, was die Teilung von 3 zu 3 Minuten zu thun erlaubte.

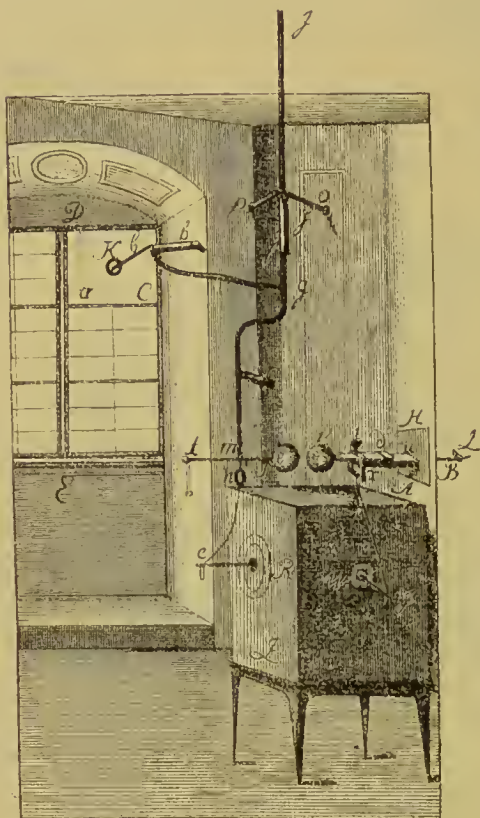


Fig. 335.

Das Elektrometer zeigt Fig. 335. *kg* ist ein Draht, der mit einer hohen, alle Teile des Gebäudes überragenden Auffangstange in leitender Verbindung steht. Sie führt zu der Querstange *tS*, die bei *t* ein aus Linnenfäden mit Hollundermarkkügelchen bestehendes Elektroskop, an der anderen Seite *S* eine Messingkugel trägt. Dieser gegenüber ist verschiebbar eine zweite, *N*, aufgestellt, die mittels des Drahtes *B* zur Erde abgeleitet ist. Das Elektroskop läßt schwache Elektrizität beobachten, stärkere Ladungen bewirken einen zwischen *S* und *V* übergelassenen Funkenstrom. Um das Zeichen der Elektrizität zu bestimmen, ist der Kasten *Z* aufgestellt, dessen

Durchschnitt Fig. 336 zeigt. In ihn herein sind isoliert die Drähte *ea* und *cd* geführt, die auf beiden äußeren Enden mit Ringen versehen sind. Durch Ketten, welche in diese eingehängt sind, kann *e* mit der Zuleitungsstange *kg* verbunden werden, *c* mit der Erde leitend verbunden werden.

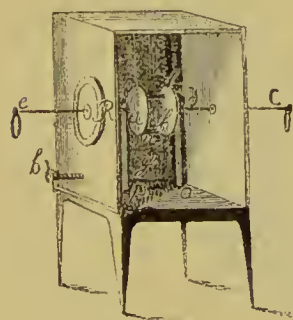


Fig. 336.

Die inneren Enden der Drähte tragen die Platten *a* und *b*, von denen jede mit einer der anderen zugekehrten Spitze versehen ist. Die Schraube *h* erlaubt sie einander zu nähern oder voneinander zu entfernen. Ein mit Glas verschlossenes Fensterehen *W* läßt in den Kasten und auf die Spitzen blicken, zwischen denen und den Platten bei richtig geregelter Abstände Entladungen übergehen, wenn die Auffangstange elektrisch geworden ist. Die mit der Luft- oder Wolkenelektrizität gleichartige strömt von *a* auf *b*.

Zeigt die an *a* befindliche Spitze einen Lichtbüschel, so ist es positive, zeigt sie ein Glimmen, so geht negative Elektrizität über. Die Beobachtung

der anderen Spitze geschieht nur der Kontrolle wegen. Die Eisenstange *JG* dient nur als Träger.

So waren die Instrumente der Mannheimer meteorologischen Gesellschaft ebenso vollständig, als im einzelnen wohl durchdacht und somit geeignet, zu zeigen, wie weit am Ende des achtzehnten Jahrhunderts die meteorologische Forschung vorgeschritten war. Wie genau die mit ihnen erhaltenen Beobachtungen waren, beweist ihre Benntzung durch Leopold von Buch, durch Alexander von Humboldt, durch Brandes, durch Daniell u. a., deren Arbeiten ohne sie unmöglich gewesen wären.

Die strömende Elektrizität.

1. Galvani und die Entdeckung der strömenden Elektrizität.

Mit den Nervenerschütterungen, die die Entladungen der Elektrisiermaschine, namentlich, wenn sie durch die Leidener Flasche verstärkt wurden, bewirken konnten, hatten die Schläge, die einige im Mittelmeere und dem Nil lebenden Fische, wie der Zitterrochen (*Torpedo marmorata*) und Zitterwels (*Malapterus electricus*), die die Krampffische, wie man sie nannte, erteilen konnten, die größte Ähnlichkeit. Zwar hatte man die Ansicht, die noch Réaumur¹⁾ für die wahrscheinlichere hielt, dass diese Schläge nur durch sehr rasche Muskelbewegungen verursacht würden, fallen lassen müssen, als Walsh²⁾ (gest. 1795) die elektrische Natur dieser Schläge dargethan hatte. Aber nun kehrte man die Sache um, und wie man früher den elektrischen Schlag für eine Muskelbewegung erklärt hatte, so erklärte man nunmehr alle Muskelbewegungen für elektrische Erscheinungen. In einer Zeit, wo man von der strömenden Elektrizität keine Ahnung hatte, musste eine solche Erklärung allerdings phantastisch genug ausfallen. Nach des Pater Beccaria (1716—1781) Ansicht, der schon 1753 an Fröschen elektrische Versuche anstellte, sollte es ein »elektrischer Dunst« sein, der sich durch die Muskeln und Nerven der Tiere bewege. »Die Geschwindigkeit«, sagt er³⁾, »mit welcher sich der elektrische Dunst in wechselnder Richtung bewegt, verweilt und von neuem sich frei macht, scheint zur Erklärung der Geschwindigkeit und des Wechsels der tierischen Empfindungen und Bewegungen auszureichen«. Das führte auf die Annahme einer spezifischen tierischen Elektrizität.

Man gab sich nun alle erdenkliche Mühe, eine solche auch anderweitig nachzuweisen. Versuche wurden in dieser Richtung namentlich von den Physiologen und Medizinern angestellt und die unglücklichen Frösche

1) Réaumur, Mémoires de l'Académie Royale de Paris. 1714. S. 447. Vgl. Gehler, phys. Lexikon. IV. Leipzig 1827. S. 310.

2) Walsh, Philosophical Transactions. 1774. Vol. 63. S. 461.

3) Beccaria, Dell' elettricismo artificiale e naturale. Torino 1753. S. 126.

mussten in Menge ihr Leben im Dienste der Wissenschaft lassen. Bei solchen Versuchen beobachtete im Jahre 1790 der Professor der Anatomie und Physiologie in Bologna, Luigi Galvani (1737—1798) eine merkwürdige Erscheinung, welche er folgendermaßen schildert¹⁾: »Ich seziierte einen Frosch und präparierte ihn, Fig. 337 [Fig. 2], und legte ihn, mich alles anderen verschend, auf einen Tisch, auf dem eine Elektrisiermaschine stand, weit von deren Konduktor getrennt und durch einen nicht gerade kurzen Zwischenraum geschieden. Wie nun der eine von den Leuten, die mir zur Hand gingen, mit der Spitze eines Scalpelmessers die inneren

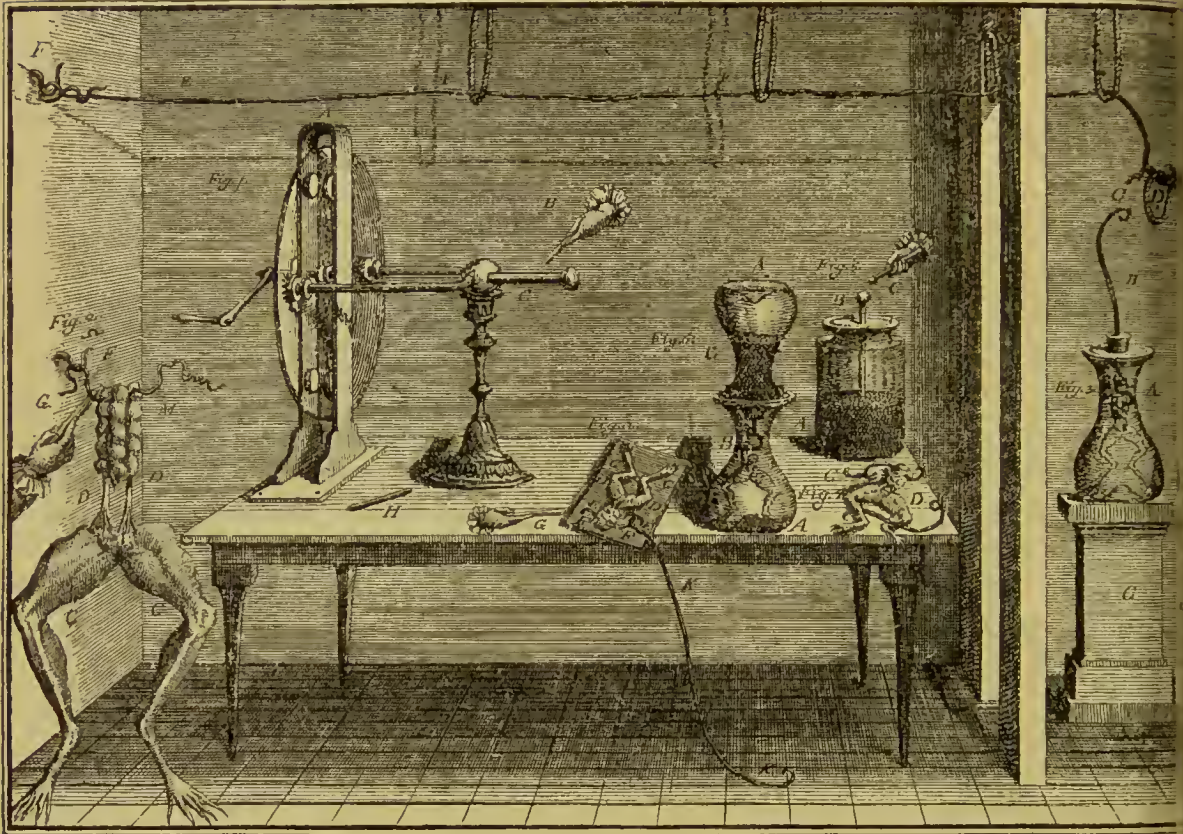


Fig. 337.

Schenkelnerven des Frosches zufällig ganz leicht berührte, sehien sich alle Muskeln an den Gelenken wiederholt derart zusammenzuziehen, als wären sie anseheinend von heftigen tonischen Krämpfen befallen. Der andere aber, der uns bei Elektrizitätsversuchen behilflich war, glaubte bemerkt zu haben, dass sich das ereignet hätte, während dem Konduktor der Maschine ein Funken entlockt wurde [Fig. 1B]. Verwundert über diese neue Erscheinung machte er mich, der ich etwas gänzlich anderes vorhatte

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 52. Leipzig 1894. S. 4. Vgl. auch Galvani, De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii. T. VII. S. 364.

und in Gedanken versunken war, darauf aufmerksam. Darauf wurde ich von einem unglanblichen Eifer und Begehren entflammt, dasselbe zu erproben und das, was darunter verborgen wäre, aus Licht zu ziehen. Ich berührte daher selbst mit der Messerspitze den einen oder den anderen Schenkelnerv, und in dem Momente entlockte der eine von den Anwesenden einen Funken. Die Erscheinung blieb stets dieselbe. Unfehlbar traten heftige Kontraktionen in den einzelnen Muskeln der Gelenke in demselben Momente ein, in dem der Funken übersprang, wie wenn das präparierte Tier von Tetanus befallen wäre«.

Obwohl die Erseheinung eine einfache Influenzwirkung war, so war Galvani so in der Voraussetzung tieriseher Elektrizität befangen, dass er keinen Augenblick zweifelte, ihr hier begegnet zu sein. Da er indessen bemerkt hatte, dass die Zuckungen nur eintraten, wenn ein Finger der Hand, die den Scalpell hielt, einen der durch den Stiel gehenden eisernen Nägel berührte, so untersuchte er zunächst den Einfluss des Messers. Veranschte er es mit einem Glasstabe, so blieben sie aus, traten aber wieder auf, wenn er einen eisernen Draht nahm. Daraus schloss er, dass die Berührung eines leitenden Körpers mit den Nerven für das Eintreten der Zuckungen erforderlich sei und fand diese Ansicht auch bei Verwendung eines über 100 Ellen langen Eisendrahtes, des Nervenkonduktors, wie er ihn nannte, bestätigt. Die Berührung des Muskels mit dem Drahte erregte dagegen keine Zuckungen. Es erwies sich bei diesen Versuchen als gleichgültig, ob er den Draht bis auf seine frei bleibenden Enden mit Wachs, Siegellaek, Peeh oder einer anderen nicht leitenden Substanz überzog, und aus dieser Beobachtung glaubte er schließen zu müssen, dass die Elektrizität sich nicht an der Oberfläche der Leiter, sondern durch deren Inneres bewege.

Da es nun aber möglich zu sein schien, dass die Lufterlektrizität diese Zuckungen hervorrufen könne, so suchte Galvani durch Versuche, deren Anordnung Fig. 338, S. 356, zeigt, darüber ins klare zu kommen. Er verband die Füße der präparierten Sehnen mit dem Seile eines Brunnens, das Rückenmark mit einem durch die Luft gezogenen Eisendraht und sah jene in heftige Zuckungen geraten, so oft Gewitterwolken vorüberzogen und sich in Blitzen entluden. Daraus schloss er, dass die Gewitterelektrizität sich wie die künstliche verhielt, es blieb aber nun übrig, auch den Einfluss der bei heiterem Himmel vorhandenen atmosphärischen Elektrizität zu untersuchen. Wie er das ins Werk setzte, erzählt Galvani folgendermaßen¹⁾:

»Deshalb, als ich zuweilen bemerkt hatte, wie die präparierten Frösche, welche an dem Eisengitter, welches einen an unser Haus grenzenden Garten umgab, auch mit Messinghaken im Rückenmark versehen aufgehängt waren,

1) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 52. Leipzig 1894. S. 22. Galvani, De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Aademia Commentarii. T. VII. S. 377.

in die gewöhnlichen Zuckungen verfielen, nicht nur beim Blitzen, sondern auch bei ruhigem und heiterem Himmel, meinte ich, die Entstehung dieser Kontraktionen sei von den Veränderungen, welche unterdessen in der atmosphärischen Elektrizität vor sich gehen, herzuleiten. Daher habe ich nicht ohne Hoffnung begonnen, die Wirkungen dieser Veränderungen in diesen Muskelbewegungen sorgfältig zu erforschen und auf die eine und die andere Art darüber Experimente anzustellen. Deshalb beobachtete ich zu verschiedenen Stunden und zwar viele Tage lang dazu passend hergerichtete Tiere, aber kaum jemals trat eine Bewegung in den Muskeln ein.

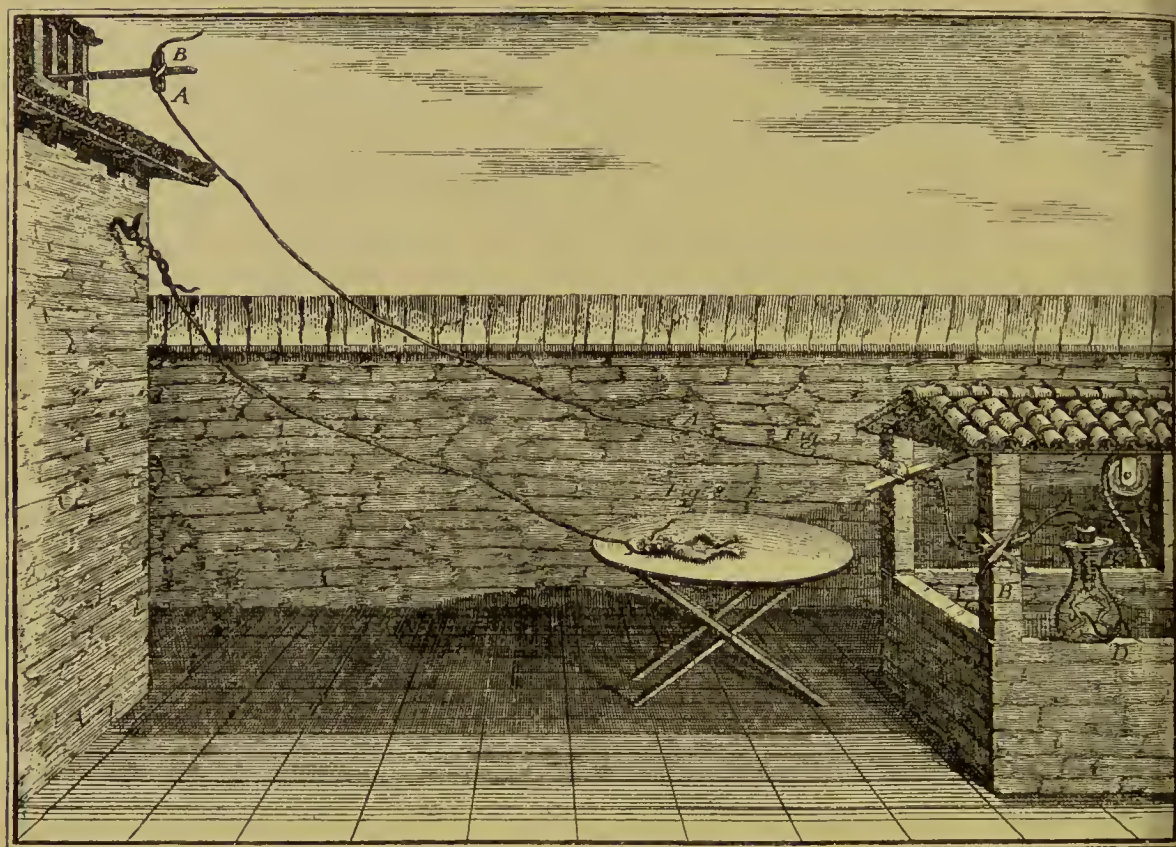


Fig. 338.

Schließlich durch das vergebliche Warten ermüdet, habe ich angefangen, die ehernen Haken, welche in das Rückenmark geheftet waren, gegen das eiserne Gitter zu quetschen und zu drücken, um zu sehen, ob durch einen solchen Kunstgriff die Kontraktionen der Muskeln erregt würden und ob anstatt einer Veränderung im Zustande der Atmosphäre und Elektrizität irgendwie sonst eine Veränderung und Wandlung von Einfluss wäre. Ich beobachtete zwar ziemlich häufig Kontraktionen, aber keine, welche von dem verschiedenen Zustande der Atmosphäre abhing.«

»Als ich diese Kontraktionen nun in der freien Luft beobachtet hatte, denn an anderen Orten waren noch keine Versuche angestellt worden, so

fehlte nicht viel und ich hätte der atmosphärischen Elektrizität, welche in das Tier kriecht und sich daselbst anhäuft und bei der Berührung des Hakens mit dem Eisengitter plötzlich entweicht, solche Kontraktionen zugesprochen. Denn es ist leicht, sich beim Experimentieren zu täuschen und zu meinen, das gesehen und gefunden zu haben, was wir zu sehen und zu finden wünschen.«

»Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Kontraktionen, dieselben Bewegungen! Dasselbe habe ich wiederholt unter Anwendung von anderen Metallen, an anderen Orten und zu anderen Stunden und anderen Tagen erprobt, und dasselbe Ergebnis erhalten, nur dass die Kontraktionen bei der Verschiedenheit der Metalle verschieden waren, bei dem einen nämlich heftiger, bei dem anderen langsamer. Schließlich kam uns in den Sinn, auch andere Körper, welche aber wenig oder gar keine Elektrizität leiteten, nämlich aus Glas, Gummi, Harz, Stein oder Holz bestehende, und zwar trocken, zu dem Experimente zu verwenden; nichts ähnliches trat ein, es ließen sich keine Muskelkontraktionen und Bewegungen erblicken. Natürlich erregte ein derartiges Resultat bei uns nicht geringe Verwunderung und ließ die Vermutung in uns aufsteigen, dass dem Tiere selbst Elektrizität inwohne. Wir wurden in beiderlei Hinsicht bestärkt durch Annahme eines sehr feinen Nervenfluidums, das während der Erscheinung von den Nerven zu den Muskeln fließe, ähnlich dem elektrischen Strome in der Leidener Flasche«.

Die Richtigkeit dieser Hypothese versäumte Galvani nicht durch viele weitere Versuche zu prüfen. Er ersetzte die Eisenplatte durch eine Glas- oder Harztafel und berührte mit den Enden eines Eisendrahtes oder eines zum Teil nicht leitenden Bogens den in das Rückenmark gesteckten Haken und einen Muskel am Fuße des Froschpräparates. Bei Anwendung des leitenden Bogens traten Kontraktionen ein, wenn Haken und Draht aus verschiedenen Metallen bestanden. Bestanden sie aber beide z. B. aus Eisen, so blieben die Kontraktionen meist aus oder waren nur ganz geringfügig. Ebenso wenig konnten sie durch den zum Teil nicht leitenden Bogen erhalten werden. Bestanden beide Bogen aber aus verschiedenen Metallen, war z. B. der Haken eisern, der Bogen aus Messing, so traten jedesmal Zuckungen auf; am stärksten wurden sie bei einem zum Teil aus Silber gebildeten Bogen. Daraus schloss Galvani, dass das Silber vor allen anderen Metallen zum Leiten der tierischen Elektrizität am geeignetsten sei.

Galvanis Erklärung seiner Versuche fand fast ungeteilte Zustimmung. Ihr schloss sich der jugendliche Alexander von Humboldt¹⁾ (1769—1859) in seinem Werk über »Galvanismus« an. Doch fehlte es auch, wenigstens nicht ganz, an Widerspruch. So sahen die beiden Haller Professoren,

1) A. v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- u. Nervenfasern, oder Galvanismus. 2 Bde. Berlin 1797/99.

Gren (1760—1798) und Reil¹⁾ (1758—1813) die Ursache der Zuckungen der Froschschenkel nicht in der tierischen Elektrizität, sondern in den im Bogen verwendeten Metallen. Ein Versuch, den unabhängig voneinander Sulzer (1720—1790) und Volta (1745—1827) anstellten, sollte den Beweis liefern, dass die Haller Professoren und nicht Galvani bei der Erklärung seiner Versuche auf dem richtigen Wege gewesen waren.

2. Volta und die Erklärung der Versuche Galvanis.

Sulzer beschreibt den von ihm angestellten Versuch folgendermaßen²⁾: »Wenn man zwei Stücke Metall, ein bleiernes und ein silbernes, so miteinander vereinigt, dass ihre Ränder eine Fläche ausmachen und man bringt sie an die Zunge, so wird man einen gewissen Geschmack daran bemerken, der dem Geschmacke des Eisenvitriols ziemlich nahekommt, da doch jedes Stück besonders nicht die Spur von diesem Geschmacke hat. Nun ist es nicht wahrscheinlich, dass bei dieser Vereinigung der beiden Metalle von dem einen oder dem anderen eine Auflösung vor sich gehe und die aufgelösten Teilchen in die Zunge eindringen. Man muss also schließen, dass die Vereinigung dieser Metalle in einem von ihnen oder in allen beiden eine zitternde Bewegung der Teilchen verursache und dass diese zitternde Bewegung, welche notwendig die Nerven der Zunge rege machen muss, den oben erwähnten Geschmack hervorbringe«.

Den nämlichen Versuch stellte Volta an, um Galvanis Anschauungen zu prüfen, ohne jedoch die Arbeit Sulzers zu kennen. Er beobachtete wie Sulzer eine Geschmacksempfindung, wenn er die Zunge zwischen die mit dem einen Rande sich berührenden Plättchen brachte. Sie konnte alkalisch oder sauer sein, je nachdem das eine oder andere Metall sich oben befand. Nahm er statt der Plättchen den aus zwei Metallen bestehenden Drahtbogen und schaltete zwischen seine Enden das Auge oder das Ohr, so nahm er eine Licht- oder eine Schallempfindung wahr. Da die auftretende Reizung des Sinnesnerven nur durch eine äußere Ursache hervorgerufen werden konnte, so schloss er in viel sachgemäßerer Weise wie Sulzer, dass dies nur eine Wirkung des Bogens sein könne, dass die Annahme der tierischen Elektrizität also nicht zu machen sei. Er breitete seine Versuche über die verschiedensten Metalle und feuchten Zwischenschichten aus und fand, dass jene nicht nur die Leiter, sondern auch die eigentlichen Erreger der Elektrizität seien. Die Metalle nannte er die Leiter oder Erreger erster Klasse und stellte sie in einer Tabelle zusammen, diese die Leiter zweiter Klasse. »So oft«, sagt er³⁾ über diese

1) Grens Journal der Physik. 1792. Bd. 6. S. 413.

2) Sulzer, Mémoires de l'Académie Royale de Berlin. 1760. Auch im Göttinger Taschenkalender für 1794. S. 186.

3) Brugnatelli, Giornale Fisico-Medico. 1794. Vol. II. S. 248 u. Vol. III. S. 97.

Zusammenstellung, »zwei solche Elektrizitätserreger oder Leiter der ersten Klasse von verschiedener Art, der eine von dieser, der andere von jener Seite, zugleich nasse zusammenhängende Leiter der zweiten Klasse berühren und endlich einer den anderen entweder unmittelbar oder mittelbar oder mittels eines dritten berühren und auf diese Art einen Kreis von Leitern bilden, so wird die elektrische Flüssigkeit in Bewegung gesetzt und bewegt sich in einem Kreise, und zwar in der Richtung, dass sie von den in der Tabelle höher stehenden Leitern der ersten Klasse auf die niedriger stehenden übergeht, indem sie den dazwischen befindlichen nassen Leiter durchdringt. Auf diese Art verfolgt sie ihren Kreislauf, so lange, als dieser nicht an irgend einer Stelle unterbrochen wird. Dieser Lauf ist um so stärker, je mehr die Leiter der ersten Klasse voneinander verschieden und in der Tabelle von einander entfernt sind. Alles dieses habe ich mit so vielen entscheidenden Versuchen dargethan, dass dieserhalb gar kein Zweifel mehr obwaltet«.

Die Tabelle, auf die er sich bezieht, ist die Spannungsreihe, deren er mehrere aufgestellt hat. Schon dieser Umstand, sodann aber auch der weitere, dass etwa um dieselbe Zeit Pfaff¹⁾ (1773—1852) auch eine solche aufstellte, die ebensowenig mit den Voltaschen übereinstimmt, wie es diese unter sich thun, beweist, wie wenig man damals noch über die Bedingungen klar war, unter denen man zuverlässige Werte erhalten kann. Doch aber ließen Volta seine Versuche erkennen, dass eine dauernde elektrische Wirkung nur bei zwei Metallen mit feuchter Zwischenschicht auftritt. »Um also«, sagt er²⁾, »bei Fröschchen Kontraktionen, auf der Zunge Geschmack, in den Augen Empfindung des Lichtes u. s. w. zu erregen, ist es schlechterdings notwendig, dass sich zwei verschiedene Metalle oder Leiter der ersten Klasse auf einer Seite untereinander berühren oder einen heterogenen zusammengesetzten Metallbogen bilden, während sie mit ihren gegenüberstehenden Enden den oder die Leiter zweiter Klasse berühren und zwischen sich fassen, die den anderen Bogen bilden«. Aber man erhält auch elektrische Wirkungen, wenn statt zweier Metalle und eines feuchten Leiters ein Metall und zwei feuchte Leiter benutzt werden, wenn die letzteren nur, wie Seifen- und Salzlösung, der Art nach voneinander verschieden sind. Um in diesem Falle eine möglichst starke Wirkung zu erzielen, ist es auch durchaus nicht gleichgültig, welche Flüssigkeitspaare man wählt.

Sollte nun aber die tierische Elektrizität aus der Wissenschaft als völlig beseitigt gelten, so musste eine andere Quelle aufgefunden werden, aus der die thatsächlich beobachtete Wirkung stammte, und auch der Nachweis stand noch aus, dass diese Wirkungen mit denen übereinkamen, die bisher nur mit der Elektrisiermaschine zu erhalten waren. Um die zur Erledigung

1) Grens Journal der Physik. 1794. Bd. 8. S. 196. Vgl. auch Ostwald, Elektrochemie. Leipzig 1896. S. 54.

2) Ebenda. 1796. Bd. 3. S. 479.

dieser Fragen nötigen Versuche anzustellen, bediente sich Volta anfangs des Kondensators und des Dopplers von Nieholson. Später aber vereinfachte er die Versuche dahin, dass er Platten von verschiedenen Metallen in Berührung brachte und nacheinander dem Knopf eines Bennetschen Elektroskopes näherte. Aus der Divergenz der Goldblättchen des Elektroskopes konnte dann ein Schluss auf die Größe der entwickelten Elektrizität gezogen, es konnte auch ihr Vorzeichen erhalten werden, »je nach der Natur des Metalles, welches man untersuchte, und des anderen, mit dem dies vorher in Berührung gestanden hatte«.

Ließen nun auch die als Voltasehe Fundamentalversuche bekannten Versuche unzweifelhaft erkennen, dass man es hier mit Wirkungen derselben Art, wie die von der Elektrisiermaschine hervorgerufenen zu thun hatte, setzten sie ihn in den Stand, das Gesetz der Spannungsreihe, das er 1801 veröffentlichte, zu finden, so ergaben sie über die Ursache dieser Wirkung nichts. Hier galt es also eine Annahme zu machen, und diese bildete sich Volta dahin aus, dass der Kontakt der den Bogen bildenden Körper die Ursache der Bewegung der elektrischen Flüssigkeit sei, dass aber die bei Berührung von Metallen entstehende die durch die Flüssigkeit erregte an Stärke weitaus überträfe. »Es erzeugt sich sonach«, sagt er¹⁾, »bei der wechselseitigen Berührung, z. B. des Silbers mit dem Zinn, eine Aktion, eine Kraft, vermöge welcher das erstere elektrisches Fluidum abgibt, das zweite hingegen es aufnimmt, oder jenes dasselbe in dieses ergießt. Diese Aktion erzeugt, wenn übrigens der Kreis durch feuchte Leiter vollständig gemacht wird, einen Strom, eine kontinuierliche Cirkulation dieses Fluidums, welches der oben angezeigten Richtung gemäß, aus dem Silber nach dem Zinn und von da durch den feuchten Leiter wieder zurück nach dem Silber geht; um so, indem es von neuem nach dem Zinn strömt, das vorige Spiel zu wiederholen.«

Dass dieser Satz dem Prinzip der Erhaltung der Energie zuwiderläuft, konnte man ihm am Ende des vorigen Jahrhunderts noch nicht zum Vorwurf machen, wohl aber, dass er die elektrische Erregung bei Berührung von Metallen und Flüssigkeiten gänzlich vernachlässigen zu dürfen glaubte und dass er die in der galvanischen Kette stattfindenden ehemischen Prozesse völlig unberücksichtigt ließ. Dem Übersetzer von Voltas Schriften, J. W. Ritter (1776—1810) schien dagegen die galvanische Wirkung und der ehemische Prozess um so mehr miteinander in Zusammenhang gebracht werden zu müssen, als die »Metalle in ihrem Verhalten zum Galvanismus« eine Reihe bilden, welche mit der übereinstimmt, in der die Metalle einander aus ihren Salzen abcheiden. Diese Abcheidung der Metalle hielt deshalb Ritter für die Ursache der Elektrizität. So wurde Volta der Schöpfer der Kontakt-, Ritter der der ehemischen Theorie der galvanischen

¹⁾ Ritter, Beiträge zur Kenntnis des Galvanismus. I. 3. Stück. 1800. S. 47. Vgl. Ostwald, Elektrochemie. S. 58.

Kette. Ritters Ansicht blieb jedoch zunächst unbeachtet, da die Physiker der damaligen Zeit, nicht zum letzten auf die Autorität Pffafs und A. von Humboldts hin, sich Voltas Ansicht anschlossen.

3. Die Voltasehe Säule.

Wenn nun auch zwei Metallplatten und eine Schicht Flüssigkeit deutliche elektrische Wirkungen gaben, so waren diese doch so gering, dass sie nur mittels der empfindlichsten Instrumente unter Anwendung besonderer Hilfsmittel zu beobachten waren. Volta suchte deshalb diese Wirkungen zu verstärken, indem er eine große Zahl solcher einfachen Elemente aufeinander legte, die nach ihm genannte Säule konstruierte; ihre älteste Form zeigt Fig. 339. In einem Briefe an Banks vom 20. März 1800 spricht sich Volta folgendermaßen darüber aus¹⁾:

»Dreißig, vierzig, sechzig oder mehr Stücke von Kupfer oder besser Silber, von denen jedes auf ein Stück Zinn oder besser Zink gelegt ist, und eine gleich große Anzahl von Schichten Wasser oder irgend einer anderen Flüssigkeit, welche besser leitet wie gewöhnliches Wasser, wie Salzwasser, Lauge u. s. w. oder Stücke von Pappe, Leder u. s. w., die mit diesen Flüssigkeiten gut durchtränkt sind, diese Stücke zwischen jedes Paar oder jede Verbindung von zwei verschiedenen Metallen geschaltet: eine derartige Wechselfolge in stets gleicher Ordnung der drei Arten von Leitern, das ist alles, woraus mein neues Instrument besteht, welches, wie gesagt, die Wirkungen der Leidener Flaschen oder der elektrischen Batterien nachahmt, indem es dieselben Erschütterungen giebt, wie diese, wobei es allerdings weit unterhalb der Wirksamkeit stark geladener Batterien bleibt, was die Kraft und das Geräusch der Explosionen, den Funken, die Schlagweite u. s. w. anlangt; es gleicht nur bezüglich der Wirkung einer sehr schwach geladenen Batterie, die aber eine außerordentliche Kapazität besitzt, übertrifft aber die Kraft und das Vermögen dieser Batterien unendlich darin, dass es nicht wie diese vorher durch fremde Elektrizität geladen zu werden braucht, und dass es den Schlag zu geben fähig ist jedesmal, wenn man es passend berührt, wie oft auch diese Berührung erfolgen mag.« Da sich die Säule somit ähnlich verhielt, wie die wirklichen Apparate der elektrischen Fische, so nennt sie Volta auch ein »künstliches elektrisches Organ«.

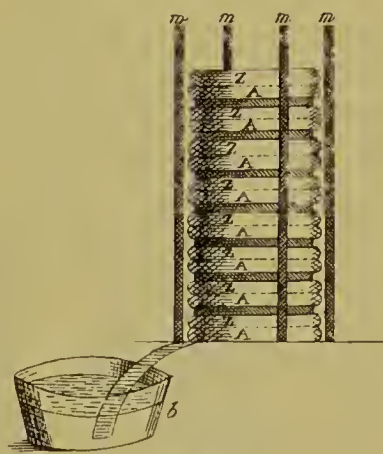


Fig. 339.

1) Philosophical Transactions. 1800. II. 405 ff. s. Ostwald, Elektrochemie. S. 118.

Um die aufeinander getürmten Platten vor dem Umfallen zu schützen, baute sie Volta zwischen vier Glasstäben *m* (Fig. 339, S. 361) auf. Wurde die Anzahl der Platten so groß, dass dies nicht mehr ging, so teilte er sie, wie die Figg. 340 und 341 zeigen, in zwei oder vier Abteilungen und ver-

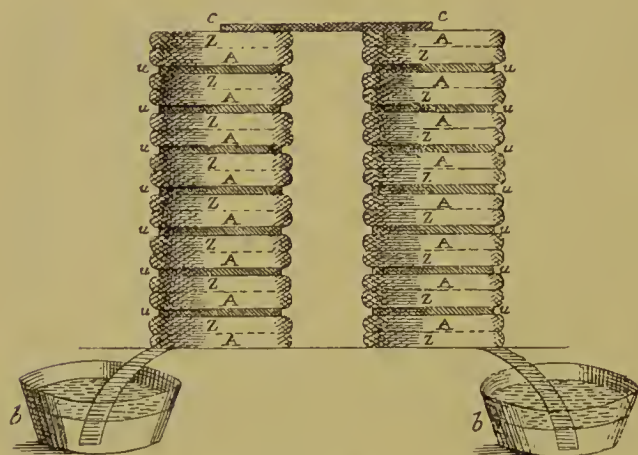


Fig. 340.

band die oberen oder die oberen und die unteren Platten mit Metallstreifen *cc*. Die Gefäße *bb* waren wie bei Fig. 339 auch mit angesäuertem oder Salz enthaltenden Wasser gefüllt und mit den untersten Platten in leitender Verbindung. Um den von der Säule erteilten Schlag recht fühlbar zu machen, hatte man nur einige Finger der einen Hand in das eine Gefäß zu tauchen und mit einem der anderen die oberste Platte oder die Oberfläche der Flüssigkeit im zweiten zu berühren. In der

Weise der Fig. 341 war die Riesensäule Ritters¹⁾, welche aus 2000 Plattenpaaren bestand, eingerichtet. Dem Übelstande, dass das Gewicht der Säule aus den unteren Platten die Flüssigkeit auspresste, half Pohl²⁾ (1788—1849)

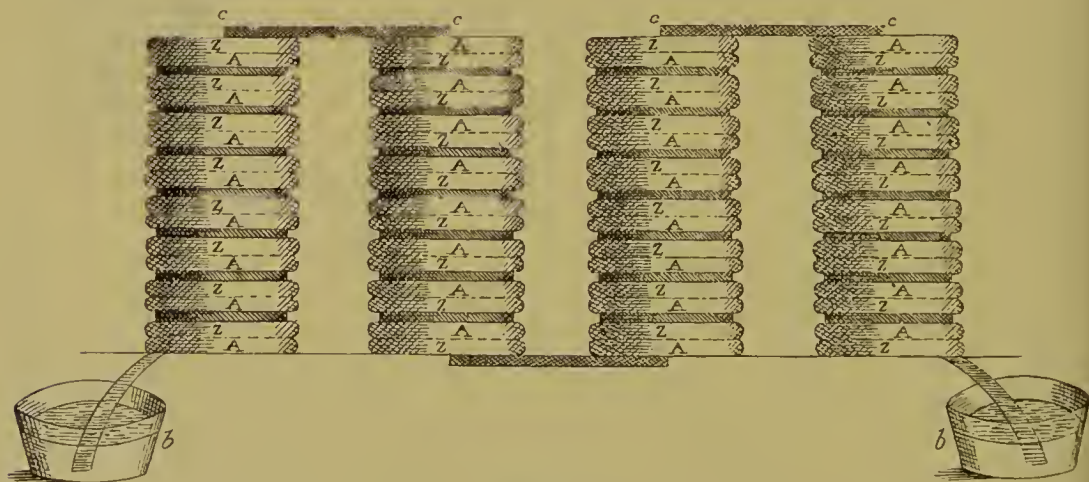


Fig. 341.

ab, indem er Platten einlegte, die mit Schrauben an die Glasstützen befestigt werden konnten, so dass die Säule aus einer Reihe kleinerer zusammengesetzt erschien. Für schwächere Ströme wendete man wohl auch

1) Ritter, Physikalisch-chemische Abhandlungen. Leipzig 1806. III. S. 370. Vgl. Gehler, physik. Wörterbuch. VIII. Leipzig 1836. S. 3.

2) Pohl, Der Elektromagnetismus. Berlin 1830. S. 78.

Säulen an, welche aus silbernen Thalern, und Zinkplättchen, die mit den Tuchlappen in einen Glaseylinder gelegt wurden, bestanden. Sie hatten den Vorteil, auch wie die von Haldane¹⁾ angegebene Säule in horizontaler Lage verwendet werden zu können. Die Zusammensetzung kräftiger Säulen mit ihren vielen Plattenpaaren war so überaus unbequem, dass bereits Volta eine andere Form angab, die bald so zweckmäßig weiter gebildet wurde, dass Pohls Verbesserung viel zu spät kam, als dass sie noch Nutzen hätte stiften können. Diese andere Form ist die Tassensäule oder Tassenkrone, die Corona di Tazze (Fig. 342). Als Metalle



Fig. 342.

nahm Volta Kupfer, Messing oder versilbertes Kupfer und Zinn in Lauge oder Zink in Salzwasser. Die Metallplatten wurden in becherförmige Gefäße gesetzt und je zwei durch angelötete metallische Bögen verbunden. Die größeren Gefäße an beiden Enden bezweckten wieder das bequemere Eintauchen der Hände. Diese Säule war zwar viel leichter zusammenzusetzen, wie die frühere Form, aber beim Auseinandernehmen mussten die Platten erst entfernt, musste dann jedes einzelne Gefäß ausgegossen werden. Um dies zu vermeiden, stellte 1800 Cruikshank²⁾ (1745—1800) zusammengelötete Silber- und Zinkplatten in die Falze eines großen mit Harz gefirnisssten Holztroges und verkittete sie an den Wänden sorgfältig, so dass sie als Wände der einzelnen Zellen dienten, in die er dann Salmiaklösung goss. Das Füllen war dabei der mühsamste Teil der Zusammensetzung. Ausgießen konnte man die Zellen zusammen. Aber auch jenes suchte man durch Herstellung von breiten Trichtern mit einer Anzahl Ausflussöffnungen zu erleichtern, welche in die einzelnen Zellen passten.

Alle diese Verbesserungen standen jedoch hinter der zurück, welche 1804 Wilkinson³⁾ anbrachte, weil diese nur ein einmaliges Füllen der Tröge oder der Zellen des Troges erforderten, in die alsdann die Platten auf einmal eingetaucht wurden. Zu diesem Zweck waren an den Verbindungsstellen zwischen den Kupfer- und Zinkplatten Ringe befestigt, durch welche, wenn sie aus der Flüssigkeit gehoben werden sollten, ein Stab gesteckt wurde. Es lag dann nahe, die Ringe mit Schrauben an den Stab anzuklemmen und diesen mit der Platte in Verbindung zu

1) Haldane, Gilberts Annalen. 1801. Bd. 7. S. 202.

2) Gilberts Annalen. 1801. Bd. 7. S. 99 und 190.

3) Ebenda. 1807. Bd. 26. S. 361.

lassen. So erhielt man die Tanchbatterie, wie sie auch heute noch in Anwendung steht.

Man hat auch später noch die Trogbatterien zu vervollkommen gesucht. So zeigt Fig. 343 einen Cruikshankschen Apparat in einem großen Kasten, welcher erlaubt, den Trog durch Drehen um eine horizontale Achse in ein davor angebrachtes Gefäß zu entleeren und durch Rückwärtsdrehen wieder zu füllen. Der Sturgeon zugeschriebene Apparat stammt freilich erst aus der zweiten Hälfte der zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts¹⁾. Einen anderen Weg der Vervollkommenung der Voltaschen Säule schlug Children (1778—1852) 1813 auf Wollastons (1766—1826) Rat ein, indem er die Kupferplatte so bog, dass sie von

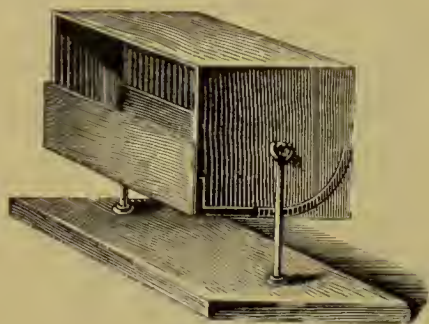


Fig. 343.

zwei Seiten die Zinkplatte umfasste, deren gesamte Oberfläche auf diese Weise zur Stromerzeugung benutzt wurde. Wollaston setzte nach diesem Plane später selbst eine solche Säule zusammen²⁾. In bequemerer Weise aber verwirklichte Oersted³⁾ (1777—1851) 1818 den nämlichen Gedanken, indem er das Kupfer als Doppeleylinder herstellte, in dessen ringförmigen Innenraum er die Flüssigkeit und einen auf Holzfüßchen ruhenden Zinkcylinder brachte.

4. Nicholson, Carlisle und Ritter. Die Wasserzersetzung und das Voltameter.

Schon im Jahre 1789 hatten Paetz van Troostwyck (1752—1837) und Deimann⁴⁾ (1753—1808) mittels der Entladung einer Leidener Flasche das Wasser in seine Bestandteile zerlegt und indem es ihnen gelang, die erhaltenen Gase wieder zu Wasser zu vereinigen, diese Wirkung der Elektrizität über jeden Zweifel erhoben. Auf die Möglichkeit der Zersetzung des Wassers mit Hilfe des galvanischen Stromes hat dagegen wohl zuerst Alexander von Humboldt bei Wiederholung der Versuche Ashs (gest. 1820), hingewiesen, der gefunden hatte, dass sich, wenn man ein Voltasches Element mit Zink und Silber zusammenstellt, das Zink oxydiert. »Das Silber«, sagt Humboldt⁵⁾, »hat unter jeder Temperatur einige

1) Gerland in Hofmanns Bericht u. s. w. S. 95.

2) Gilberts Annalen. 1816. Bd. 52. S. 355. Bd. 54. S. 9.

3) Oersted, Schweiggers Journal. 1818. Bd. 20. S. 205.

4) F. K. Fischer, Geschichte der Physik. Jena 1801—1808. Bd. 8. S. 541.

5) Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfasern. Berlin 1797. Bd. 1. S. 471.

Ziehkraft zum Sauerstoff. Liegt nun eine dünne Wasserschicht zwischen dem Zink- und Silberplättchen, so sind die Ziehkkräfte beider Metalle thätig, dieselbe zu zerlegen.« Wenn es nun auch unklar bleibt, wie man sich die Wirksamkeit dieser Ziehkraft vorzustellen hat, da sie doch wohl ebenso vom Zink, wie vom Silber auf den Sauerstoff ausgeübt werden muss¹⁾, so ist hier doch zuerst mit Bestimmtheit das Eintreten der Wasserzersetzung aus der Oxydation des Zinks gefolgert, denn die Bemerkungen Priestleys²⁾ (1733—1804) über die Vorgänge in der Säule, die ihn auf die Hypothese zweier Elektrizitäten, der positiven, die Oxygen und der negativen, die Phlogiston enthalte, und die mit Wasser verbunden die beiden entgegengesetzten Arten von Luft, nämlich Lebensluft und brennbare Luft, bilden, führen nicht zur Forderung der Zersetzung des Wassers durch den Strom.

Die ersten, die wirklich die Zersetzung des Wassers beobachteten, waren Nicholson und Carlisle³⁾ (1768—1840). Über ihre Entdeckung berichtet Nicholson folgendermaßen: »Bald nach dem Anfang dieser Versuche (mit der Säule) bemerkte Carlisle, dass, als ein Tropfen Wasser auf die obere Platte gebracht worden war, um die Berührung sicherer zu machen, an dem berührenden Draht Gas entbunden wurde, welches, so wenig dessen auch war, mir doch wie Wasserstoff zu riechen schien, wenn der verbindende Draht von Stahl war. Dies und andere Thatsachen bewogen uns am 2. Mai, den galvanischen oder elektrischen Strom durch zwei Messingdrähte zu führen, welche in einer mit Korkstöpseln verschlossenen $\frac{1}{2}$ Zoll weiten Röhre voll frischen Flusswassers, $1\frac{3}{4}$ Zoll von einander endigten. Der eine Draht dieses Ausladers wurde mit der oberen, der andere mit der unteren Platte einer aus 26 Kronenstücken und ebensoviel Zink- und Pappscheiben zusammengesetzten Säule in Berührung gebracht. Sogleich erhob sich in der Röhre aus der Spitze des unteren mit dem Silber verbundenen Drahtes ein feiner Strom kleiner Luftblasen und die darüber stehende Spitze des anderen Drahtes begann anzulaufen... Das ganze während dritthalb Stunden entbundene Gas betrug $\frac{2}{3}$ eines Kubikzoll's Gewicht; mit einer gleichen Menge atmosphärischer Luft explodierte es bei der Annäherung eines Wachsstockes.

Gleich beim ersten Erscheinen des Wasserstoffgases hatten wir eine Zersetzung des Wassers in diesem Versuche erwartet; dass sich aber der Wasserstoff nur an dem Ende des einen Drahtes entwickelt, während sich der Sauerstoff mit dem anderen verband, der beinahe 2 Zoll von jenem abstand, überraschte uns nicht wenig. Diese neue Erscheinung ist uns noch unerklärbar und scheint auf irgend ein allgemeines Gesetz der Wirkungsweise der Elektrizität bei chemischen Vorgängen hinzuweisen.

1) Ostwald, Elektrochemie. Leipzig 1896. S. 114.

2) Nicholsons Journal of natural Philosophy. Bd. 1. S. 198. Vgl. Fischers phys. Wörterbuch. Göttingen 1805. Bd. 6. S. 492.

3) Gilberts Annalen. 1800. Bd. 6. S. 340. Vgl. Ostwald, Elektrochemie. S. 130.

. . . Den 6. Mai wiederholte Carlisle den Versuch mit kupfernen Drähten und Lackmüstinktur. Der mit der Zinkplatte verbundene, sich oxydierende untere Draht färbte in ungefähr 10 Minuten die Lackmüstinktur, so weit er reichte, rot, indessen das übrige blau blieb.« . . .

Fast gleichzeitig mit den englischen Forschern hatte seiner Mitteilung nach Ritter¹⁾ die Wasserzerlegung durch den galvanischen Strom bemerkt und nicht unterlassen, mit Apparaten verschiedener Form die Erseheinung genauer zu untersuchen. Er benutzte zuerst den in Fig. 344 dargestellten



Fig. 344.

Apparat, eine mit zwei Korkstopfen verschlossene Röhre, die mit Wasser gefüllt wurde und in die er den Strom mit Hilfe zweier Golddrähte *a* und *b* einführte, welche durch die Stopfen gingen. Die Form

des Versuches war unzweckmäßig, da die horizontale Lage der Röhre das Auffangen der Gase erschwerte, auch nicht erlaubte, die an den beiden Drähten auftretenden gesondert aufzufangen. Ritter ersetzte das eine Rohr deshalb durch zwei Rohre, in die oben die den Strom zuführenden Drähte geführt waren, wie Fig. 345 zeigt, während die beiden unten

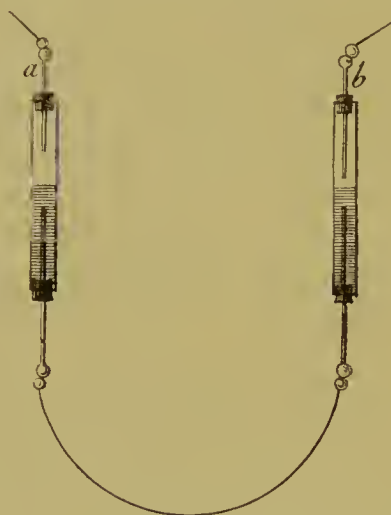


Fig. 345.

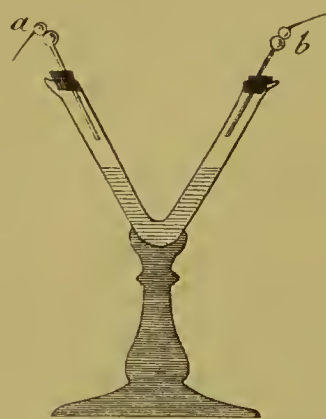


Fig. 346.

hineingehenden Drähte durch einen dritten längeren Draht die in ihnen enthaltenen Flüssigkeitsmengen in Verbindung setzten. Aber auch diese Form behielt er nicht bei, sie musste der noch zweckmäßigeren, welche Fig. 346 wiedergibt, weichen, ein U-förmiges Rohr, dessen beide Enden die die Zuleitungsdrähte führenden Stopfen verschlossen. Die Röhren der Apparate (Fig. 345 und 346) füllte er bis zur Hälfte mit konzentrierter Schwefelsäure, auf die er dann vorsichtig destilliertes Wasser schichtete. »Im Augenblicke des Schließens der Batterie«, beschreibt er diesen Versuch, »ging der Oxygendraht *a* sowohl, wie der Hydrogendraht *b* an Gas

1) Voigts Magazin f. d. neuesten Zustand der Naturk. II. 1800. S. 356.

zu geben und diese Entwicklung dauerte fort, so lange man die Kette geschlossen hielt«. Aber auch dieser Apparat befriedigte Ritter nicht, er ersetzte ihn durch Fig. 347 und so ist Ritter der Urheber der gebräuchlichsten Formen der Wasserzersetzungsgapparate geworden¹⁾.

Obleich er nun bei allen seinen Versuchen an dem einen Pol Sauerstoff, an dem anderen Wasserstoff erhielt, so konnte er sich doch nicht überzeugen, dass aus diesen Bestandteilen das Wasser bestehe, sie demnach durch Zersetzung des Wassers erhalten werden könnten. Diese Ansicht brachte ihn freilich in Gegensatz wohl zu allen seinen Zeitgenossen, die über das in Rede stehende Problem ein Urteil haben konnten; sie glaubten vielmehr gerade in der Menge der entwickelten Gase

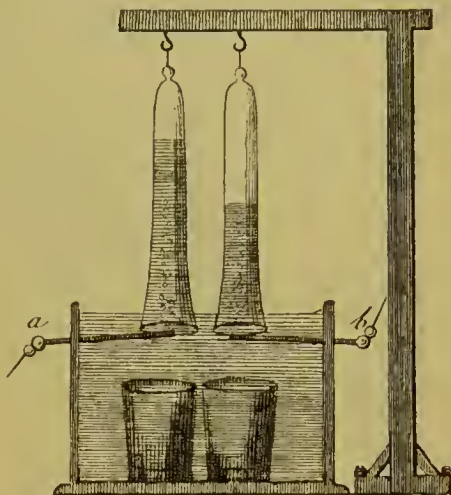


Fig. 347.

oder wenn nur Wasserstoff antrat, in dessen Menge ein Maß der größeren oder geringeren Wirksamkeit der die Säule zusammensetzenden Metalle und des Einflusses der Leitungsdrähte sehen zu dürfen. So vor allen Landriani²⁾, dessen Apparat

Fig. 348 zeigt. Der letztgenannte Forscher war es auch, welcher Volta in einem am 17. August 1800 geschriebenen Brief mit der Thatsache der Zersetzung des Wassers bekannt machte, von diesem freilich am 22. September desselben Jahres die Antwort erhielt, dass ihm die betreffenden Versuche nicht

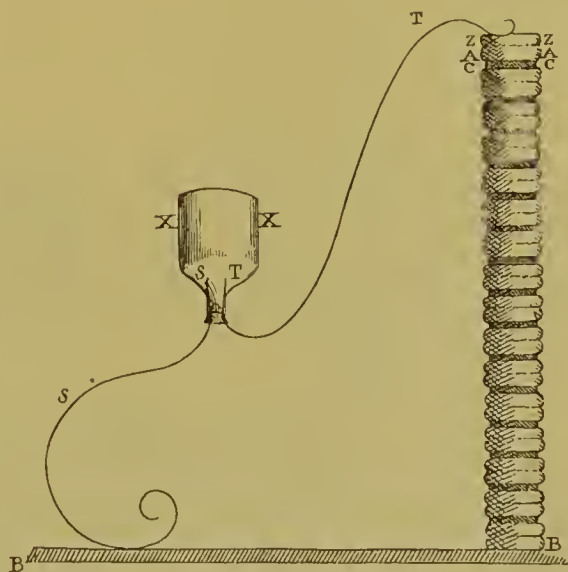


Fig. 348.

gewesen seien, dass sie ihn aber von Anfang an nicht überrascht hätten. Denn er hätte bereits bei seinen Versuchen mit der Tassensäule bemerkt, dass der elektrische Strom »die Kalkination der verschiedenen metallischen Platten an

den Teilen veranlasste und beförderte, die sich im Wasser, ob dieses rein oder mit Salz versetzt war, befanden, und zwar am meisten die der Zinkplatten«.

Doch legte Volta diesen chemischen Vorgängen nur geringe Bedeutung bei und so war er es nicht, der das Voltameter zuerst angab, sondern der

1) Voigts Magazin f. d. neuesten Zustände der Naturk. II. 1800. Taf. V. Fig. 3.

2) Vgl. Ostwald, Elektrochemie. S. 132.

Professor an der Berliner Banakademie Simon¹⁾ (1767—1815). Es ist in Fig. 349 wiedergegeben. Simon füllte die mit eingeschmolzenen Platindrähten versehene Röhre *AB* mit frisch ausgekochtem, destillierten Wasser

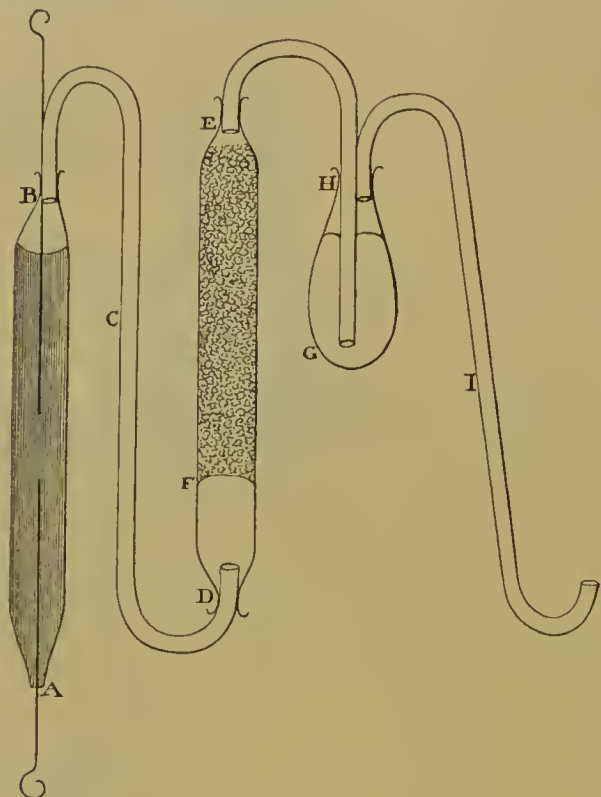


Fig. 349.

und verband das zweimal gebogene Rohr *C* luftdicht mit dem *AB* gleichgeformten Rohre *DE*, welches bis *F* mit Quecksilber, bis *E* mit frisch geschmolzenem und zerkleinertem Chlorkalium gefüllt war. An *E* war das Rohr *EHG* gekittet, welches in das mit Quecksilber gefüllte Gefäß *GH* führte, aus dem das Gas durch das Abfuhrrohr *I* entwich. Es wurde in einem mit ausgekochten Wasser gefüllten Gefäße aufgefangen, welches über eine mit Quecksilber gefüllte Schale gestülpt war. Zur Wasserzersetzung diente eine Voltasche Säule von fünfzig Plattenpaaren, die zehn Wochen und zwei Tage in Thätigkeit gehalten wurde. Nach Ver-

lauf dieser Zeit betrug die entwickelte Gasmenge 27,54 Kubikzoll, deren Gewicht auf 4,61 Gran berechnet wurde. Da nun der Gewichtsverlust des Wassers in *AB* 4,60 Gran betrug, so war damit bewiesen, dass die erhaltenen Gase aus dem Wasser und nicht etwa aus galvanischer Materie stammten.

War nun dieser Apparat auch als Voltameter, als Galvanoskop, wie Simon ihn noch nannte, brauchbar, so war er dafür doch nicht bequem genug. Für derartige Zwecke gab deshalb Simon ihm die in Fig. 350 vorgesehene Einrichtung, deren Zweck er folgendermaßen schildert²⁾: »Auch könnte man die beschriebenen Vorrichtungen zu einem Galvanoskop anwenden, um damit die Stärke der Wirkung verschiedener Säulen gegeneinander zu vergleichen, indem die Stärke ihrer Wirkung im geraden Verhältnis der Ränne stehen möchte, welche die vermittelst ihrer in einerlei Zeit entwickelten Gasarten einnahmen«.

Wie man sieht, sollte das entwickelte Gas durch das mit dem Hahn *G* versehene Rohr *D* in die mit Quecksilber gefüllte Kugel *E* gelangen und

1) Simon, Gilberts Annalen. 1802. Bd. 10. S. 282.

2) Gilberts Annalen. 1801. Bd. 18. S. 28.

dieses in das Rohr *F* treiben. Aus seiner Höhe, die an einen neben *F* angebrachten Maßstab abgelesen werden konnte, war es dann möglich, die in einer bestimmten Zeit entwickelte Gasmenge zu finden.

Über die Wasserzersetzung hatte auch Humphrey Davy¹⁾ (1778—1829) messende Versuche angestellt und das nämliche Resultat wie Simon erhalten. Während dieser aber seine Ergebnisse für die Messung der Stromstärke nutzbar machte, ging Davy zu der Untersuchung der Wirkung des Stromes auch auf andere zusammengesetzte Körper über und gelangte auf diesem Wege zu der Überzeugung, dass der in der Voltaschen Säule auftretende Strom lediglich eine Folge der in ihr stattfindenden chemischen Prozesse sei und umgekehrt, diese durch den Strom verursacht würden.

5. Gautherot und Ritter. Polarisation und Troekensäule.

Die Bestrebungen auch anderer Forscher über die Vorgänge in der Voltaschen Säule zur Klarheit zu kommen, führte am Anfange des 19. Jahrhunderts unabhängig von einander Gautherot und Ritter zur Beobachtung des Vorganges, den man später die Polarisation der Säule nannte. Gautherot²⁾ (1753—1803) schildert seine diesbezüglichen Arbeiten mit folgenden Worten:

»Als ich meine Versuche nicht mit der Voltaschen Säule, sondern mit der Tassenkrone fortsetzte, bemerkte ich, dass der brennende Geschmack, welchen man erhält, wenn man zwei metallene Drähte in den Mund nimmt, deren andere Enden in die äußersten Tassen des Apparates tauchen, bemerkte ich, sage ich, dass, wenn die Drähte von Platin oder Silber waren, und ich sie nach dem Herausnehmen aus den Tassen miteinander in Berührung brachte, ich wieder einen leichten galvanischen Geschmack empfand, der sogar einige Dauer besaß, wenn man die beiden Drähte in Berührung

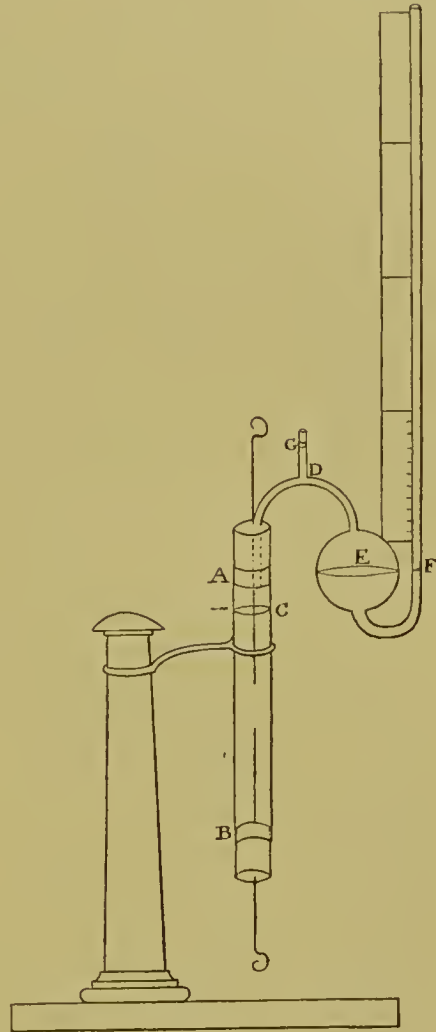


Fig. 350.

1) Davy, Nicholsons Journal. 18. 4. 326.

2) Sue, Histoire du Galvanisme. 1802. II. Bd. S. 209; nach Mémoires des sociétés savantes et littéraires de la République française. I. Bd. S. 471 u. ff.

ließ und der sogar sich wiederholt erneute, wenn man die Drähte mehrermals gegeneinander bewegte«.

»Dieser Geschmack ist noch deutlicher, wenn man die beiden Drähte in eine Flasche mit Salzwasser bringt, indem man sie mittels eines Korkes festhält, dass sie einander nicht berühren können; taucht man nun die beiden anderen Enden in die äußersten Enden der Tassenkrone, oder berührt mit ihnen die Enden einer gewöhnlichen Säule, wobei man vor allen Dingen den Augenblick abwartet, wo das Wasser sich in der Flasche zu zersetzen beginnt, und bringt man alsdann die beiden Drahtenden, die mit dem Apparate in Verbindung waren, in den Mund, so ist der Geschmack deutlicher ausgesprochen; in einzelnen Fällen kann man sogar eine leichte Erschütterung bemerken, auch hat die Wirkung eine längere Dauer. Auch bin ich dazu gelangt, mittels des neuen Apparates Wasser zu zersetzen«.

Ebensowenig wie Gautherot, der mit anderen Gelehrten seiner Zeit das Dasein eines unbekannten Agens vermutete, welches, mit dem elektrischen sich verbindend, die galvanischen Erscheinungen hervorrufe, gelang es Ritter¹⁾, eine Erklärung des nämlichen, von ihm im Sommer 1801 selbständig beobachteten Vorganges zu geben. Er hatte bemerkt, dass, wenn er mit zwei Golddrähten Wasser zersetzte und sie dann aus dem Stromkreise der Säule nahm, eine kurze Zeit noch der Draht, an dem sich der Sauerstoff abgeschieden hatte, Wasserstoff, der andere Sauerstoff gab. Um die Wirkung zu verstärken, ersetzte er das eine Element, welches aus den beiden Golddrähten und der zersetzten Flüssigkeit bestand, durch eine Säule und ließ durch diese den Strom hindurchgehen. »Man schiebt«, so giebt er die Anweisung zu diesem Versuche, »fünzig Kupferplatten, wovon jede etwas größer als ein Laubthaler und ebenso dick wie ein Kartenblatt ist mit ebensovielen koehsalznassen Pappen von ungefähr 2 Quadratzoll Fläche und einer Linie Dicke nach der Ordnung: Kupfer, Pappe, Kupfer, Pappe, Kupfer u. s. w., und beschließt die Reihe zuletzt ebenfalls mit Kupfer . . . Man verbinde jetzt das obere Ende dieser Säule A durch einen Eisendraht mit dem positiven oder dem Oxygenpol, das untere Ende derselben durch einen anderen Draht mit dem negativen oder Hydrogenpol einer gewöhnlichen Voltaschen Batterie von 90 bis 100 Lagen . . . und lasse beides 3 bis 5 Minuten in Verbindung. Darauf nehme man schnell einen oder beide Verbindungsdrähte ab und verbinde schließlich A (was früher gar nichts gab) von einem Ende zum anderen mit einem Eisendraht. Man wird nun einen schönen roten, sternförmigen Funken haben . . . Schließt man statt mit einem Eisendrahte mit einer Röhre voll Wasser, welche mit zwei Golddrähten versehen ist, welche nahe aneinander stehen, so wird man sogleich mit der Schließung an beiden Drähten Gasentbindung haben . . . Schließt man statt der Glasröhre mit beiden Händen, welche man vorher mit Koehsalz- oder Salmiakauflösung gehörig feucht

1) Voigts Magazin. 1803. Bd. 6. S. 105.

gemacht und mit Massen von Zinn und Eisen armiert hat, . . . so wird man Schläge bekommen . . . Bringt man statt der einen von beiden Händen ein Auge, ein Ohr, die Nase, die Zunge oder sonst einen Teil des Körpers in den schließenden Kreis, so hat man in jedem dieser Organe dieselben Empfindungen, die Voltas Batterie selbst zu geben pflegt«.

»Scheint die Säule durch Schließung erschöpft zu sein, so darf man sie meist nur eine kleine Zeit ruhen lassen und sie wirkt sogleich von neuem wieder in einem ihrem Alter und den übrigen Umständen angemessenen Grade«.

Diese Säule nannte Ritter Ladungssäule, und es fiel ihm auf, dass sie, wenn sie nach tagelangem Stehen fast ausgetrocknet war, doch noch elektrische Wirkungen geben konnte. Er versuchte nun, ob eine gewöhnliche Voltasche Säule sich ebenso unempfindlich gegen das Austrocknen verhielte. Zu seinem Erstaunen sah er eine Säule aus 600 Zink- und Kupferplatten und Zwischenlagen aus völlig trockenem weißen Schafleder dieselben Wirkungen ausüben, wie eine in gewöhnlicher Weise unter Einschaltung von Flüssigkeit konstruierte. Ersetzte er das Leder durch dünne Glasplatten, so zeigte sich das nämliche. Aber wenn er auch die Säule eine Trockensäule nannte, so entging es ihm keineswegs, dass diese Bezeichnung nicht im eigentlichen Sinne des Wortes zu nehmen war, dass vielmehr die Wirkung der Säule nur eintrat, wenn der nicht metallische Körper Feuchtigkeit auf seiner Oberfläche verdichtete¹⁾.

Das nämliche Ergebnis erhielt Behrens²⁾ (1775—1813), als er die Trockensäule aus Plättchen unechten Gold- und Silberpapiers zusammensetzte, die mit der Papierseite aufeinander geklebt waren. Da die beiden entgegengesetzten Enden einer aus vielen solchen Plättchen bestehenden Säule stets entgegengesetzte, wenn auch schwache Ladungen zeigten, so benutzte er zur Konstruktion ein empfindliches Elektroskop. »Die Versuche über die Säule mit Goldpapier hatten mich überzeugt«, so beschreibt er es, »dass dieser Apparat ein wahres Perpetuum mobile sei. Dadurch kam ich auf folgendes Raisonement: Wenn in der Mitte zwischen den zwei entgegengesetzten Polen zweier solcher gleich starken und nicht isolierten Säulen ein isoliertes Goldblättchen aufgehängt wäre, so würde dieses vermöge der gleichen Kräfte der beiden Säulen von seiner senkrechten Richtung nicht abweichen. Würde nun aber dem Goldblättchen ein elektrischer Körper genähert, so müsste es vom positiven Pole der einen oder vom negativen der anderen Säule angezogen werden, je nachdem der genäherte Körper negative oder positive Elektrizität hätte. Wie sich erwarten ließ, bewährten die Versuche diese Idee, welche dem im folgenden beschriebenen Instrumente zu Grunde liegt«.

1) Ritter, Physikalisch-chemische Abhandlungen. Bd. 2. S. 270. Vgl. Gehlers physikalisches Wörterbuch. VIII. S. 110.

2) Behrens, Gilberts Annalen. 1806. Bd. 23. S. 2.

»Fig. 351 stellt einen senkrechten Durchschnitt des Instrumentes vor, auf $\frac{1}{4}$ des Längenmaßes reduziert. Der von Holz gedrehte Fuß *abede* hat zwischen *de* eine Höhlung, in welche das Glas *gfh* gesetzt und befestigt ist. Die obere Fassung dieses Glases ist in der Mitte ausgedreht und in die Öffnung die lackierte Glasröhre *ki* gekittet. Die Fassung dieser letzteren *il* ist in der Mitte durchbohrt und durch dieselbe geht gedrängt,

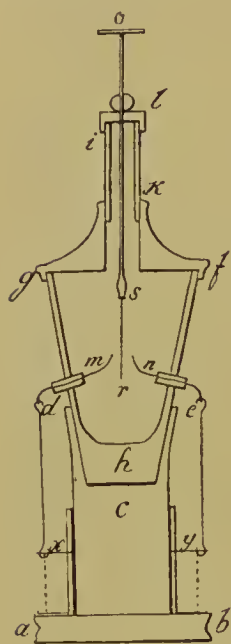


Fig. 351.

aber verschiebbar, der Draht *os*, der vermittelt der Zunge *s* das Goldblättchen *rs* trägt. Das Glas ist an zwei entgegengesetzten Seiten durchbohrt und in den Öffnungen sind die beiden kleinen Röhren *m* und *n* befestigt. Diese sind von innen und von außen mit Siegellack überzogen, und durch dieselben gehen zwei im Glase nach oben, außerhalb desselben nach unten gebogene, $\frac{1}{2}$ Linie breite Bleche, *md* und *ne*, welche beide in den Röhren verschiebbar sind. Senkrecht unter jedem Öhr *d* und *e* der beiden erwähnten Bleche sind in den Vorsprung des Fußgestelles an jeder Seite drei dünne, mit Siegellack überzogene Glasröhren eingesetzt . . . Zwischen diesen Röhren sind zwei elektrische Säulen aus Messingblech, Stanniol und Goldpapier aufgeschichtet. Jede Säule besteht aus einigen vierzig Schichtungen und jede ist in der entgegengesetzten Richtung der anderen gebaut, so dass *x* den positiven Pol, *y* aber den negativen Pol oben hat. Beide unterste Platten der Säule sind durch einen Draht unter

sich und zugleich durch eine Stanniolscheibe, womit die unterste Fläche des Fußes bekleidet ist, mit der Erde verbunden. Die Deckplatten der Säulen stehen durch spiralförmig gewundene Drähte *xd* und *ye* mit den Blechen *md* und *ne* in Verbindung, und letztere werden durch die Federkraft der Spiralen in der gehörigen Lage gehalten«.

»Regeln für den Gebrauch des Instrumentes sind: der elektrische Körper muss nur langsam genähert werden. Hat das Goldblättchen angeschlagen, so muss der Draht *o* vor Anstellung eines zweiten Versuches ableitend berührt sein«.

Der Vorschlag von Behrens fand zunächst wenig Anklang. Erst Bohnenberger (1765—1831) und Fechner (1801—1887) brachten seinen Messapparat zu allgemeinerer Aufnahme, während die Trockensäule bereits 1812 selbst in weiteren Kreisen bekannt wurde. Dazu trugen freilich weniger die Arbeiten, die De Luc¹⁾ über sie veröffentlichte, bei, als die Herstellung eines »Perpetuum mobile« durch Zamboni²⁾, welches Fig. 352

1) De Luc, Nicholsons Journal. 1810. Bd. 26. S. 69.

2) Zamboni, Brugnattelli Giornale de Fisica, Chimica etc. 1812 und 1813. Gilberts Annalen. 1815. Bd. 49. S. 35. Gehlers physik. Wörterb. Bd. VIII. S. 110.

zeigt. Zwischen den entgegengesetzten Polen zweier nebeneinander aufgestellten, aus Gold- und Silberpapier aufgebauten trockenen Säulen *JP* ist eine leichte Metallnadel *ccc* angebracht, die bei *M* auf einer Schneide ruht. Indem ihr oberes Ende *A* abwechselnd von den die Pole bildenden Kugeln *D* angezogen und wieder abgestoßen wird, gerät sie in Schwingungen, die sehr lange Zeit andauern. War der Apparat in dieser Form auch nur eine Spielerei, so lenkte er doch die Aufmerksamkeit auf die Trockensäule und ihre Verwendbarkeit für elektrische Messungen.

6. Oersted, Schweigger und Ampère. Das Galvanometer.

So nützlich auch das Elektroskop war, so ließen sich doch nur die Wirkungen der offenen Säule damit bestimmen, für die der geschlossenen fehlte jeder Messapparat. Einen solchen ermöglichte die Entdeckung, die Oersted 1820 machte und unter dem Datum des 21. Juli

veröffentlichte. Man hatte schon vor ihm, wiewohl vergeblich, versucht, bei offener galvanischer Kette die Magnethnadel zur Ablenkung zu bringen. Mit besserem Erfolge wiederholte Oersted diese Versuche mit der geschlossenen. Über seine Arbeiten, bei denen ihn sein Freund, der Justizrat Esmarch unterstützte, lässt er sich, wie folgt, aus¹⁾: »Der galvanische Apparat, dessen wir uns bedienen haben, besteht aus 20 rechteckigen kupfernen Zellen, die jede 12 Zoll lang, 12 Zoll hoch und $2\frac{1}{2}$ Zoll breit und jede mit zwei Kupferstreifen versehen ist, welche so geneigt sind, dass sie den Kupferstab tragen können, der die in der Flüssigkeit der benachbarten Zelle schwebende Zinkplatte hält. Das Wasser, womit die Zellen angefüllt wurden, war mit $\frac{1}{60}$ seines Gewichtes Schwefelsäure und mit eben-

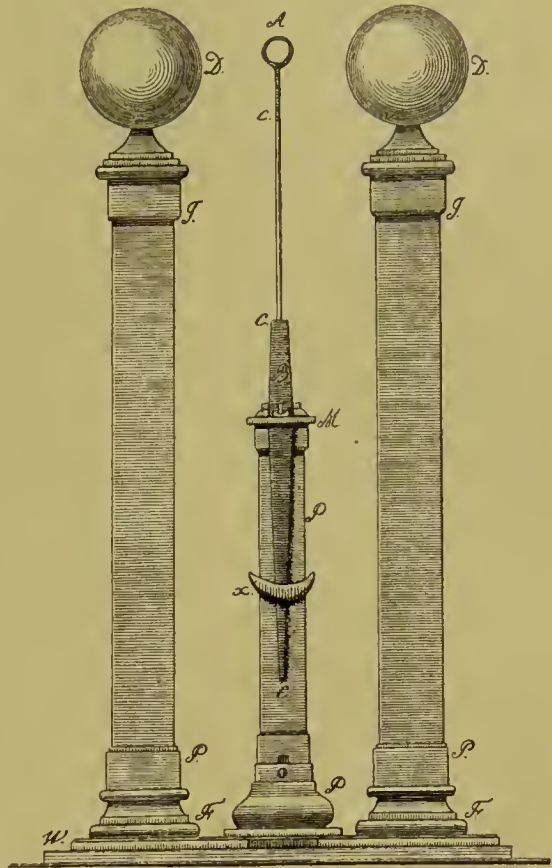


Fig. 352.

1) Schweiggers Journal für Chemie und Physik. XXIX. Bd. S. 275 u. ff. Die Abhandlung führt den Titel: Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. Eine deutsche Übersetzung in demselben Bande dieser Zeitschrift. S. 364 u. ff. S. auch Ostwalds Klassiker der exakten Wissensch. Nr. 63.

soviel Salpetersäure versetzt, und der in jeder Zelle eingetauchte Teil der Zinkplatte war ein Quadrat von 10 Zoll Seite. Doch können auch kleinere Apparate gebraucht werden, wenn sie nur einen Draht zum Glühen zu bringen vermögen«.

»Man denke sich die beiden entgegengesetzten Enden des galvanischen Apparates durch einen Metaldraht verbunden. Diesen werde ich der Kürze halber stets den verbindenden Leiter oder den verbindenden Draht nennen; die Wirkung aber, welche in diesem verbindenden Leiter und um denselben vor sich geht, mit dem Namen elektrischen Konflikt bezeichnen«.

»Man bringe ein geradliniges Stück dieses verbindenden Drahtes in horizontaler Lage über eine gewöhnliche, frei sich bewegende Magnetnadel so, dass er ihr parallel sei; und zu dem Ende kann man den Draht ohne Schaden nach Belieben biegen. Ist alles so eingerichtet, so wird die Magnetnadel in Bewegung kommen, und zwar so, dass sie unter dem vom negativen Ende des galvanischen Apparates herkommenden Teile des verbindenden Drahtes nach Westen zu weist. Ist die Entfernung des Drahtes von der Magnetnadel nicht mehr als $\frac{5}{4}$ Zoll, so beträgt diese Abweichung ungefähr 45° . Bei größerer Entfernung nehmen die Abweichungswinkel ab, wie die Entfernungen zunehmen. Übrigens ist die Abweichung verschieden, nach Verschiedenheit der Stärke des Apparates«.

»Der verbindende Draht kann nach Osten oder Westen bewegt werden, wenn er nur immer der Nadel parallel bleibt, ohne dass dieses einen anderen Einfluss auf den Erfolg hat, als dass die Abweichung kleiner wird« . . .

»Wenn sich der verbindende Draht in einer horizontalen Ebene unter der Magnetnadel befindet, so gehen alle angegebenen Wirkungen nach entgegengesetzter Richtung vor, als wenn er in einer über derselben befindlichen horizontalen Ebene ist, sonst aber auf ganz gleiche Weise. Der Pol der Magnetnadel, unter welchem sich derjenige Teil des verbindenden Drahtes befindet, in welchem die Elektrizität des negativen Endes des galvanischen Apparates zunächst hineintritt, weicht jetzt nach Osten ab.«

»Damit man dieses leichter im Gedächtnisse behalte, bediene man sich folgender Formel: der Pol, über welchem die negative Elektrizität eintritt, wird nach Westen, der Pol, unter welchem sie eintritt, nach Osten zu gedreht.«

»Dreht man den verbindenden Draht in der horizontalen Ebene, so dass er allmählich immer größere Winkel mit dem magnetischen Meridian macht, so wird die Abweichung der Magnetnadel vermehrt, wenn das Drehen des Drahtes nach dem Orte der gestörten Magnetnadel zuwärts geschieht; sie nimmt dagegen ab, wenn das Drehen von diesem Orte zurück geschieht«.

Weitere Versuche lehrten Oersted, dass der »elektrische Konflikt«, also der den Draht durchfließende Strom durch alle Körper hindurch auf die Magnetnadel wirke und dass er »in Kreisen fortgehe«. Ja, er glaubte

bewiesen zu haben, dass »die Wärme und das Licht der elektrische Konflikt sind«. Seine Abhandlung, welche er an zahlreiche Gelehrte, sowie an die Herausgeber wissenschaftlicher Zeitschriften schickte und so für ihr Bekanntwerden sorgte, erregte berechtigtes Aufsehen. Überall wurden die merkwürdigen Versuche wiederholt und bereits im September 1820 die Oerstedsche Entdeckung von Schweigger (1779—1857) zur Herstellung des Multiplikators benutzt, der den Zweck hatte, die Wirkung des Stromes auf die Nadel zu verstärken. »Daraus«, führte Schweigger¹⁾ in der Sitzung der naturforschenden Gesellschaft zu Halle am 16. September 1820 aus, »dass eine Umkehrung der Wirkung erfolgt, je nachdem der Polardraht unter oder über der Nadel hing, und ebenso, je nachdem vom positiven oder negativen Pole her der Draht geleitet wird, daraus lässt sich, sage ich, durch eine leichte Schlussfolgerung eine Verdoppelung der Wirkung ableiten, die sich auch in der Erfahrung bewährt. Ich lege zunächst den einfachen Verdoppelungsapparat, wo sich die Bussole zwischen zwei umschlungenen Drähten befindet, der Gesellschaft vor. Leicht wird eine Vervielfachung der Wirkung sich erhalten lassen, wenn man die Drähte nicht bloß einmal, sondern mehrmals umschlingt. Jene einfache Umsehlung aber reicht schon hin, um die Versuche Oersteds bloß mit kleinen Streifen von Zink und Kupfer, die in Salmiakwasser getaucht sind, wiederholen zu können«.

Genauer beschreibt er seinen Verdoppelungsapparat in einem am 4. November gehaltenen Vortrage. »Das Prinzip«, sagt er da, »dessen ich mich zur Verstärkung der Erscheinung, gleichsam zur Konstruktion einer elektromagnetischen Batterie bediente, war die Umsehlung der Drähte um die Bussole, und hier lege ich der Gesellschaft eine Schleife vor, aus mehrfach umschlungenen, mit Wachs überzogenen Drähten (Fig. 353). Während die einfachen Drähte beim Gebrauche dieser schwachen elektrischen Kette die Magnetnadel nur um etwa 30 bis 40° abstoßen, wird sie, in die eine Öffnung dieser in den magnetischen Meridian gestellten Schleife gebracht, 90° gegen Osten, in den anderen 90° gegen Westen beim Gebrauche derselben schwachen elektrischen Kette abgestoßen werden«.

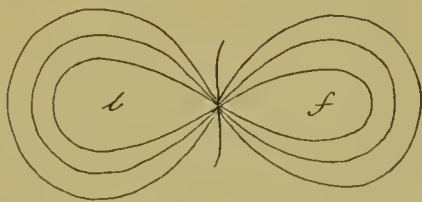


Fig. 353.

»Aber ich will noch einen anderen Apparat hier beschreiben, der gleichsam bloß auf einer Erweiterung der Schleife beruht, wodurch die Magnetnadel auf jeden beliebigen Winkel zwischen 0° und 180° gestellt werden kann. In Fig. 354, S. 376, stellt der Kreis *agbha* eine runde Glasscheibe vor, von oben herab, perpendicular über ihren Mittelpunkt betrachtet. Ein Silberdraht, mit Seide übersponnen, werde um dieselbe geschlungen, so

1) Schweigger, Journal für Chemie und Physik. 1821. Bd. 31. S. 2.

dass er von *a* nach *b* unterhalb der Glasscheibe, und von *b* nach *a* über der Scheibe hinlaufe, in der Art mit Wachs an der Glasscheibe befestigt, dass eine Bussole, welche durch die Magnethadel angedeutet ist, zwischen

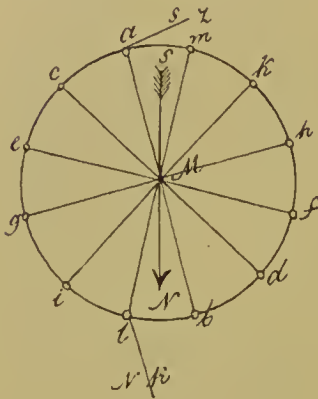


Fig. 351.

dem Glase und dem oberhalb des Glases hinlaufenden Drahte Platz finden kann. Auf ähnliche Art wie *ab* ist auch *cd* um das Glas geschlungen, zuerst unterhalb und dann oberhalb des Glases hinlaufend, in ununterbrochenem Zusammenhange mit *ab*. Man begreift nämlich, dass *ab*, *cd*, *ef* u. s. w. einen kontinuierlich zusammenhängenden Draht vorstellen. Da dieser Draht mit Seide umsponnen ist, so kann der Vereinigungspunkt aller Drähte im Mittelpunkte der Scheibe keineswegs zum Vereinigungspunkte der entgegengesetzten Elektrizitäten werden, vielmehr läuft der elektrische Strom durch den ganzen umschlungenen Draht hin, und eine Magnethadel, durch diesen elektrischen Strom bewegt und gleichsam immer in neuen Schlingen gefangen, kann auf jeden beliebigen Winkel gestellt werden«.

Während nun Schweigger seinen Multiplikator nur zur Erläuterung elektromagnetischer Erscheinungen benutzte, machte ihn im folgenden Jahre Poggendorff (1796—1877) zum Messapparate. Den ihm gegebenen, allerdings nicht passenden Namen Kondensator änderte Erman¹⁾, der den Apparat zuerst beschrieb, in den von Ampère zuerst gebrauchten des Galvanometers ab und erwartete von ihm, dass er »ein wahres Kleinod« für die Elektrochemie werden möchte. Habe doch bereits Poggendorff bei seinen Bestimmungen des elektrischen Leitungsvermögens verschiedener Stoffe auffallende Unregelmäßigkeiten gefunden. Poggendorff hatte seinen Apparat so erhalten, dass er einen kupfernen, etwa $\frac{1}{10}$ Linie starken, mit Seide umsponnenen Draht »in kreisförmigen, dicht an- und nebeneinander gedrängten Windungen aufgewickelt, den Bündel von beiläufig 40 bis 50 Gewinden festgeschnürt, dann zu einer elliptisch länglichen Form zusammengedrückt hatte, so dass im inneren Umfange dieses Kondensators eine Nadel, wenn die zwei Enden des Drahtes an die Faktoren der Kette angesetzt werden, frei spielen könne, entfernt von den inneren Gewinden des Drahtes überall nur um ungefähr 2 Linien«. Die Empfindlichkeit des Instrumentes fand Poggendorff mit der Anzahl der Windungen aber langsamer als diese zunehmen, beobachtete auch, dass, wenn die Anzahl eine gewisse Größe erreicht hatte, die Empfindlichkeit nicht mehr wuchs.

Auch in Frankreich hatten Oersteds Versuche das größte Interesse erregt, und namentlich waren es Arago (1786—1853) und Ampère

1) Erman, Umriss zu den physikalischen Verhältnissen des von Herrn Professor Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berlin 1821. S. 105—112.

(1775—1836), welche sich, nachdem sie sie auf der Versammlung der schweizerischen und französischen Naturforscher in Genf im Jahre 1820 kennen gelernt hatten, eingehend mit ihnen beschäftigten. Zunächst wiederholten sie die Versuche und beobachteten dabei, dass eine Stahladel dadurch magnetisiert werden kann, dass sie in eine vom Strome durchflossene Drahtspirale gesteckt wird¹⁾. Im Verlaufe seiner Arbeiten beobachtete Arago, dass ein über Eisenfeilicht gehender Draht sich mit jenem dicht bedeckte, sobald ein Strom hindurehging, dass er es wieder fallen ließ, wenn der Strom unterbrochen wurde. Da die sich so äussernde Kraft des Stromes als seiner Stärke proportional sich ergab, so glaubte Arago in der Wägung der anhängenden Eisenteilehen ein Mittel zur Messung der Stromstärke gefunden zu haben.

Bequem wäre ein solches freilich nicht gewesen, der Schweiggersehe Multiplikator war ohne Zweifel zweckmäßiger, und wenn auch Aragos Idee später in einzelnen Fällen, freilich in sehr veränderter Form, zur Anwendung kam, so wurde jener bald allgemein und auch in Frankreich als Strommesser eingeführt, nachdem er von Ampère, den seine elektrodynamischen Arbeiten unabhängig von Schweigger darauf geführt hatten, bekannt gegeben worden war. In der nämlichen Sitzung der Pariser Akademie der Wissenschaften vom 18. September 1820, in der er sein neues Messinstrument vorzeigte, berichtete er²⁾ über diese Arbeiten, die für die Lehre vom Galvanismus bald grundlegend wurden. Er zeigte, dass die elektromotorische Wirksamkeit sich auf zweierlei Weise äußere, als elektrische Spannung und als elektrischer Strom. Während jene an Leitern und Nichtleitern beobachtet und mit dem Elektrometer gemessen werden kann, ist dieser an die Leiter gebunden und nur durch seine chemische Wirkung oder die Ablenkung der Magnetadel nachzuweisen. Man müsse ihm zweierlei Richtungen zuerkennen, doch werde die Bezeichnungsweise sehr wenig einfach, wolle man darauf immer Rücksicht nehmen. Ampère schlägt deshalb vor, die Richtung der strömenden positiven Elektrizität als Strom zu bezeichnen und so zugleich diesen Begriff festzulegen. Um mit Hilfe der Ablenkung einer Magnetadel die Richtung des Stromes zu finden, stellte er die bekannte Schwimmerregel auf und machte den weiteren Vorschlag, ein auf diese Weise hergestelltes Instrument, welches in derselben Weise wie das Elektrometer eine Ladung der Elektrisiermaschine und deren Stärke angebe, den Strom und seine Energie messen lasse, ein Galvanometer zu nennen. Da aber Schweigger seinen Multiplikator bereits am 16. September 1820 vorgezeigt hatte, so gebührt ihm die Priorität vor

1) Annales de Chimie et de Physique. 1820. T. XV. S. 93—102. Siehe auch Collection de Mémoires relatifs à la Physique publiés par la Société française. T. II. Electrodynamique I. Paris 1885. S. 55.

2) Ampère, Annales de Chimie et de Physique. 2. Sér. T. XV. S. 59 ff. und 170 ff. S. Recueil d'observations électrodynamiques. Paris 1822. S. 1 ff. und Collection de mémoires relatifs à la Physique. T. II. Electrodynamique I. S. 12.

Ampère. Sollte nun die Wirkung eines Stromes auf eine Nadel eine recht starke sein, so musste man ihren Magnetismus möglichst schwach machen, und das erreichte Ampère¹⁾ 1821 durch Einführung der astatischen Nadel, zweier gleich starker Magneten, welche mit entgegengesetzt gerichteten Polen an ein unmagnetisches Verbindungsstäbchen befestigt werden.

Ampère ist also der Erfinder der Verbindung zweier Magneten behufs Aufhebung der Einwirkung des Erdmagnetismus auf dieselben. »Den nämlichen Versuch«, so beschreibt er sie, »kann man auch vermittlest eines einfacheren Apparates anstellen, in welchem die beiden Nadeln SN und $S'N'$ (Fig. 355) an einem und demselben Zapfen befestigt sind, und deren gleichnamige Pole entgegengesetzte Richtungen haben, so dass die richtende Kraft der Erde auf die eine durch die entgegengesetzte Wirkung, die sie auf die andere hervorbringt, aufgehoben wird. Man versichert sich zu Anfang des Versuches davon, dass sie in allen ihnen gegebenen Richtungen unbeweglich bleiben...

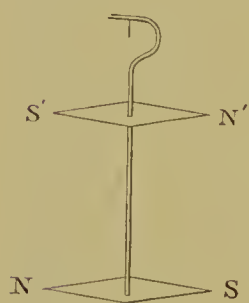


Fig. 355.

Befindet sich der leitende Draht unter der Nadel SN , oder über $S'N'$, so müssen notwendig die beiden Nadeln weit genug von einander entfernt sein, damit die leitenden Drähte, welche man auf die eine wirken lässt, nicht zu stark entgegengesetzt auf die andere wirken. Da der Strom horizontal läuft, so sieht man in diesem Versuche ebensowohl als in dem vorhergehenden, die dem leitenden Drahte zunächst befindliche Nadel in der auf diesen Draht senkrechten Richtung sich fixieren, wobei ihr Südpol immer zur Linken des Stromes tritt. Befindet sich hingegen der Leiter zwischen den beiden Nadeln, so wirkt er auf alle beide auf gleiche Weise und seine Wirkung ist um so energischer, je näher sie einander sind«. So zeigte Ampère mit Hilfe des astatischen Nadelpaares die Ablenkung der Nadel durch den Strom, kam aber nicht darauf, sie zur Messung der Stromstärke in seinem Galvanometer zu benutzen.

7. Ampère und die Einwirkung von Strömen auf Ströme und Magneten.

Das Studium der Wechselwirkung zwischen Strömen und Magneten führte den Pariser Akademiker sodann auf die Untersuchung des Einflusses, den ein vom Strom durchflossener Leiter auf einen anderen ebensolchen

1) Ampère und Babinet, Darstellung der neuen Entdeckungen über Elektrizität. Aus dem Französischen. Leipzig 1822. S. 36. Annales de Chimie et de Physique. 1821. T. XVIII. S. 320.

ausübt. Fig. 356 zeigte die abstoßende Wirkung zweier entgegengesetzt gerichteter Ströme. Das Stück CD des um die Achse EF drehbaren Leiters wurde durch den festen AB abgestoßen und gehoben. Da aber

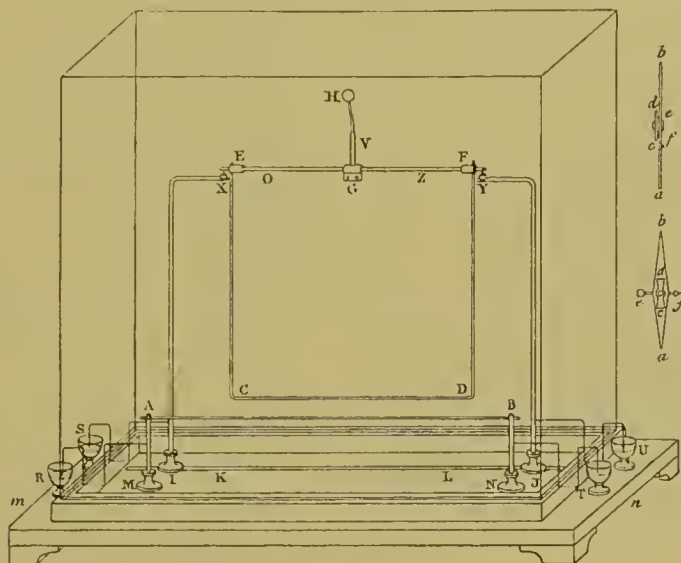


Fig. 356.

die vom Strome ausgeübte Kraft kaum ausgereicht hätte, um das Drahtviereck zu heben, so war in H ein Gegengewicht angebracht, um den

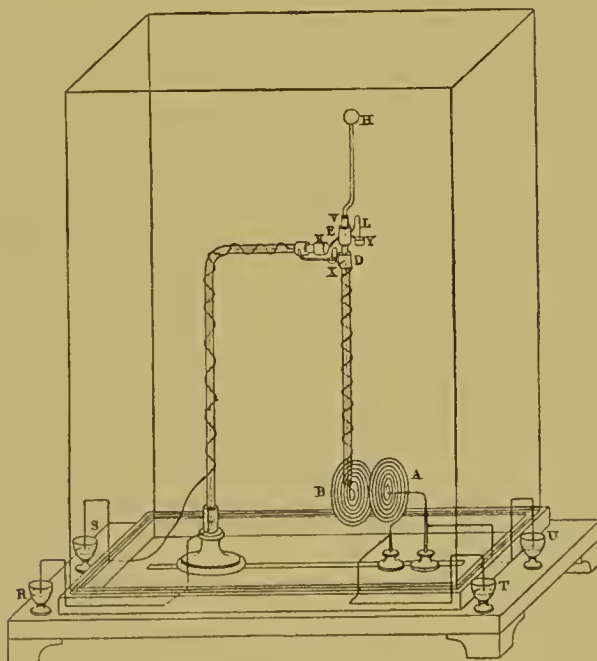


Fig. 357.

Schwerpunkt des Ganzen in die Achse zu verlegen. Um die Stromwirkung zu verstärken, ließ dann Ampère, wie Fig. 357 zeigt, zwei spiralförmig gewundene Drähte A und B aufeinander wirken. Der zu der beweglichen

Spirale aufgewundene Draht ging in schraubenförmigen Windungen außerhalb der einen Glasröhre nach *B*, in gerader Richtung in deren Inneren, von da zurück. Er war um die Achse *XY* drehbar, in die das Gegengewicht *H* wieder seinen Schwerpunkt verlegte. Anziehung und Abstoßung

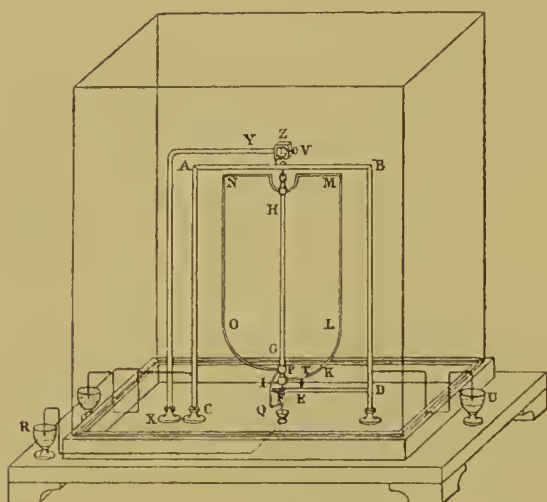


Fig. 358.

ließ sich mit den Apparaten, welche in den Figg. 358 und 359 dargestellt sind, beobachten. Sie bedürfen keiner weiteren Beschreibung; der Apparat (Fig. 360) sollte dazu dienen, die Wirkungen zweier Ströme aufeinander auch quantitativ zu untersuchen. Dazu war die gegenseitige Stellung und die Entfernung der Stromleiter durch die Stellschrauben *K* und *M* abzuändern und die durch die erste bewirkte Drehung konnte an dem Teilkreise *ZT*, die durch die zweite hervorgerufene Ver-

sehiebung an der geteilten Schiene *gh* abgelesen werden. Da Ampère beobachtet hatte, dass der Magnetismus der Erde auf das bewegliche Drahtviereck einen Einfluss ausübte, so hob er seine Wirkung dadurch auf, dass er

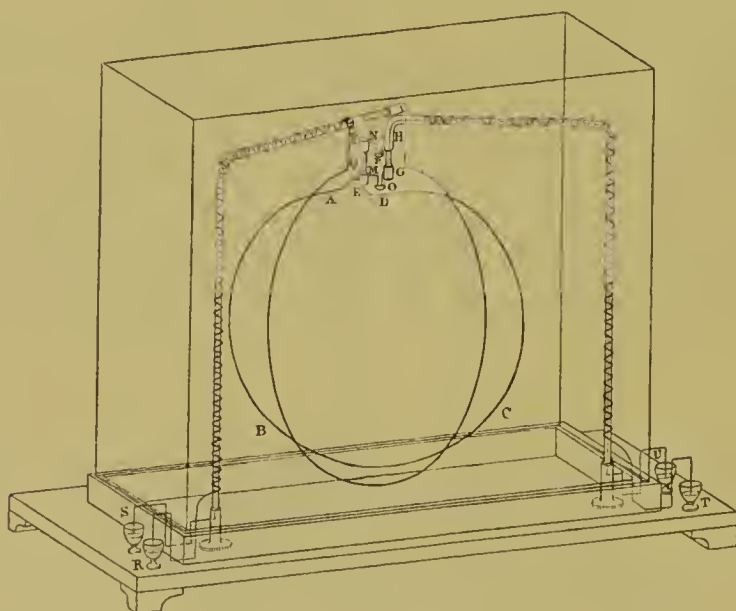


Fig. 359.

das Viereck aus zwei gleichen Teilen *ABCD* und *abxd* zusammensetzte, die der Strom in umgekehrter Richtung durchlief. Zur Abhaltung störender Luftströme wurden über die Apparate oder wenigstens über ihre beweglichen Teile Glaskästen gestülpt.

Indem Ampère durch seine Versuche auf die Wirkungen, die der Erdmagnetismus auf einen vom Strom durchflossenen Leiter ausübt, vielfach hingewiesen worden war, musste ihm daran gelegen sein, sie einer eingehenderen

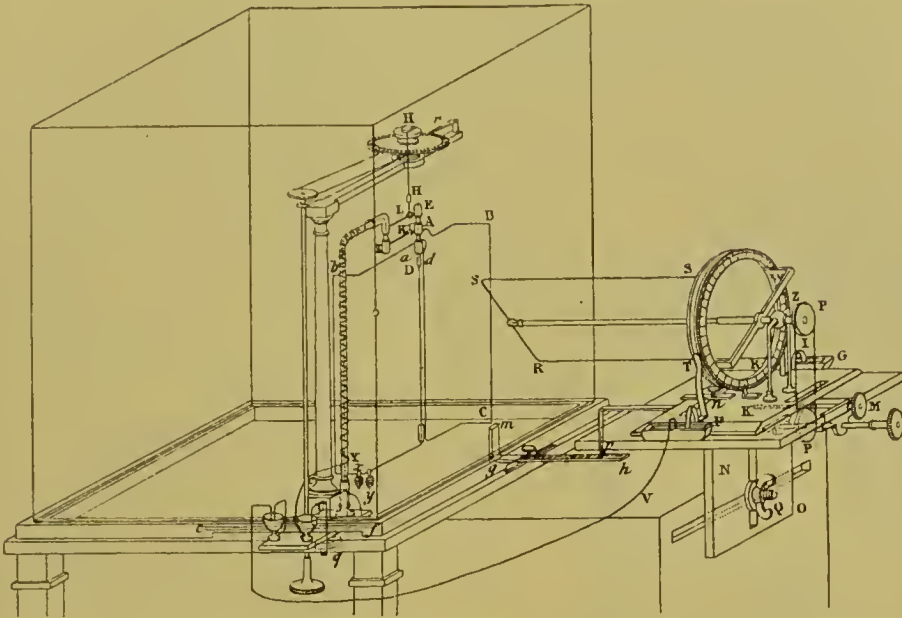


Fig. 360.

Untersuchung zu unterwerfen. Zu diesem Zwecke stellte er den in Fig. 361 vorgeführten Apparat her. *AD* und *BF* sind zwei an ihren Enden rechtwinklig umgebogene Glasröhren, durch die Drähte gesteckt werden, von denen der eine von *F* zu dem Quecksilberköpfchen *X*, der andere durch *D* zu dem Näpfchen *N* geht. Ihre anderen Enden sind schraubenförmig um die Röhren gelegt und in der Mitte miteinander verbunden. Ampère erwartete nun, dass sich die Glasröhren, wenn durch die Drähte ein Strom geleitet wurde, in die Richtung der Deklinationsnadel stellten, sah sich aber getäuscht. Er vermutete, dass dies Misslingen der geringen Empfindlichkeit des Apparates zur Last gelegt werden müsse, und konstruierte deshalb, um die richtende Kraft des Erdmagnetismus auf den Strom nachzuweisen, den Apparat, welchen

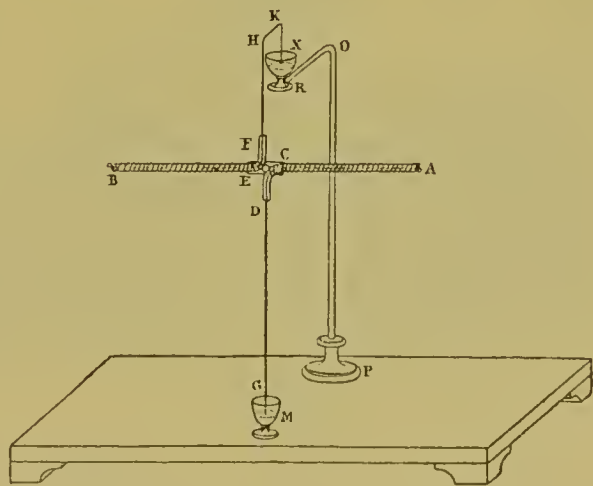


Fig. 361.

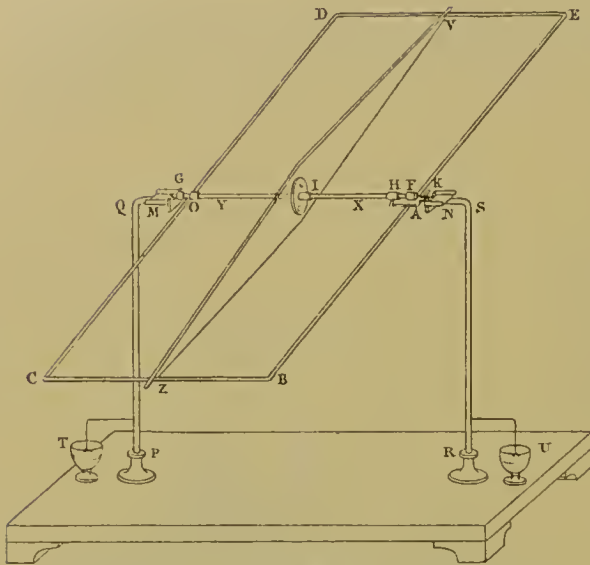


Fig. 362.

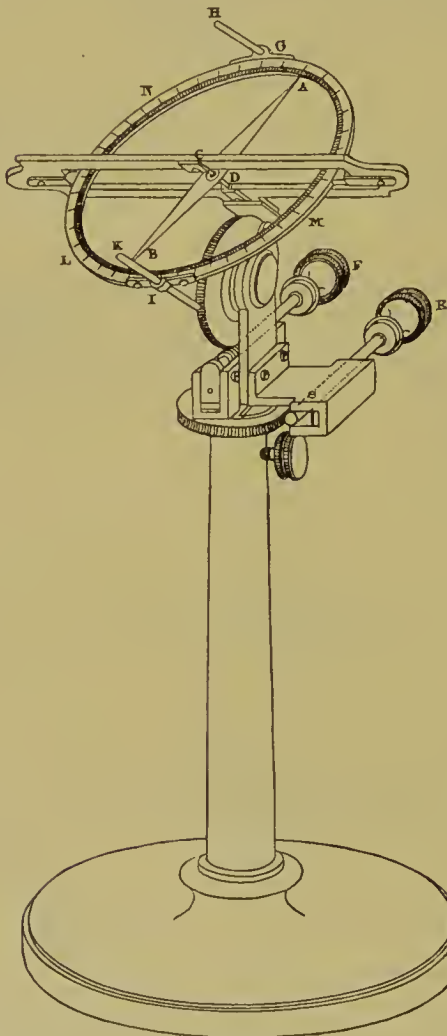


Fig. 363.

Fig. 362 vor Augen führt. Das aus Kupferdraht bestehende Rechteck $BCDE$ wurde von zwei Glasröhren PQ und RS getragen, in deren pfannenartige Enden die an der als Achse dienenden Glasröhre OH angebrachten Spitzen drehbar aufgesetzt waren. Das Gewicht des Vierecks war auf beide Seiten der Achse gleich verteilt, ein rautenförmiges, dünnes Plättchen VZ aus Holz sicherte den Abstand der Seiten DE und BC . Stellte Ampère die langen Seiten des Vierecks dem magnetischen Meridian parallel, so stellte sich dieses senkrecht zur Richtung der Magnetnadel. Seine Empfindlichkeit reichte also aus, um die von Ampère vermutete Richtkraft des Erdmagnetismus darzuthun.

Sollte nun die richtende Kraft des Stromes auf die Magnetnadel unabhängig von allen anderen Wirkungen zur Anschauung gebracht werden, so war die Herstellung einer solchen nötig, welche der Einwirkung der Erdmagnetismen völlig entzogen war. Dazu wäre eine vollkommen astatische Nadel brauchbar gewesen. Ampère zog es aber vor, diese Versuche mit dem in Fig. 363 dargestellten Apparate zu machen. Die Nadel wurde mit Hilfe eines um eine außerhalb seiner Ebene gelegenen Achse drehbaren Kreises NM senkrecht zur Richtung der Inklinationnadel gestellt und

konnte so in jeder Stellung zur Ruhe gebracht werden. Die stromführenden Drähte wurden durch Löcher in den Stiften *GH* und *IK* geführt, und waren somit in verschiedene Entfernungen von der Nadel anzubringen.

Zufolge der Ansicht, welche sich Ampère von dem Wesen der Magnete gebildet hatte, musste er nun weiter annehmen, dass wie sie, auch die Erde von galvanischen Strömen umkreist sei. Dieser im Vergleich zu dem in einem Drahte verlaufenden als unbegrenzt anzusehende Endstrom musste dann aber im Stande sein, einem um eine senkrechte Achse drehbaren Drahte, wenn dieser vom Strom durchflossen wurde, eine dauernde Drehung zu erteilen. Den Apparat, den Ampère zur Prüfung dieser Folgerung aus seiner Theorie herstellte, zeigt Fig. 364. Wir können von seiner eingehenderen Beschreibung absehen, da er, allerdings in etwas veränderter Form, auch in den neueren Lehrbüchern der Physik abgebildet und ausführlich beschrieben ist¹⁾. Er war der erste der großen Zahl von elektrodynamischen und magnet-elektrischen Rotationsapparaten, wie solche später A. de la Rive, Faraday u. a. konstruierten. Haben diese auch ein hohes theoretisches Interesse, so waren sie für weitere Anwendungen nicht geeignet, mit Ausnahme des in Fig. 365 dargestellten Barlowschen Rades²⁾, welches wohl als die erste magnet-elektrische Maschine bezeichnet werden darf.

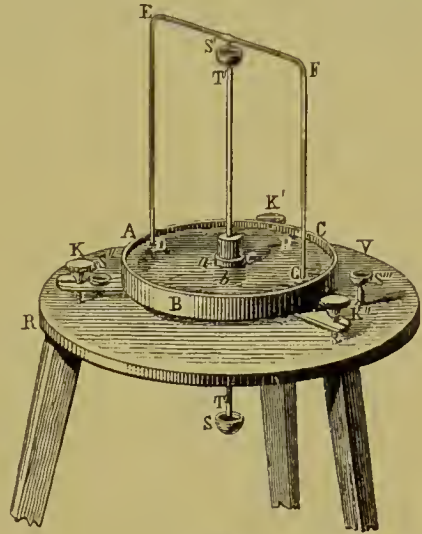


Fig. 364.

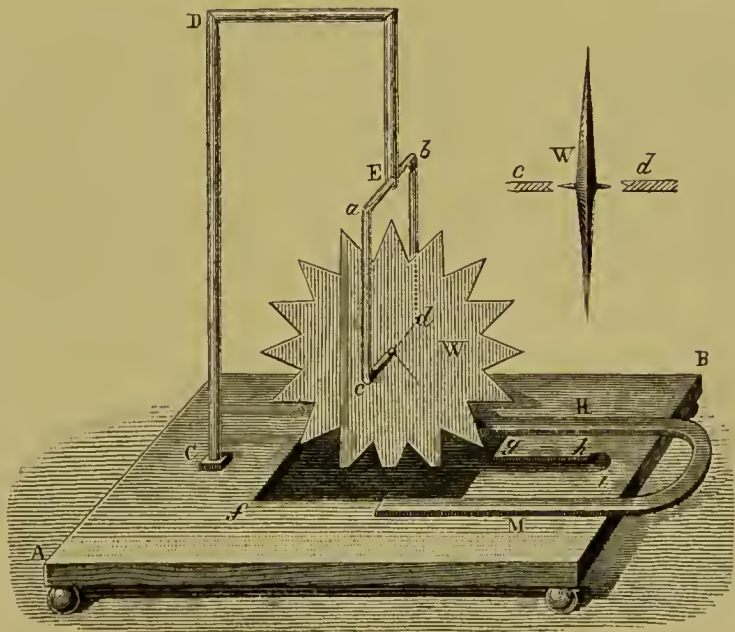


Fig. 365.

1) Ampère, *Annales de Chimie et de Physique*. 1822. 2. Sér. T. 20. S. 60 ff. *Recueil d'observations* S. 237 und *Collection de mémoires relatifs à la Physique*. T. II. *Electrodynamique*. I. S. 192 ff.

2) Barlow, *Philosophical Magazine*. 1822. T. 59. S. 21.

Auguste de la Rive¹⁾ (1801—1873) verfolgte wie Ampère mit seinem Apparate namentlich den Zweck, das Vorhandensein des Erdstromes nachzuweisen und setzte damit Untersuchungen fort, die bereits sein Vater Gaspard de la Rive²⁾ (1770—1834) begonnen hatte. Zu dem Ende hatte dieser seinen schwimmenden Strom angegeben, von dem die Figuren 366 und 367 zwei verschiedene Formen zeigen, die erstere ein in eine

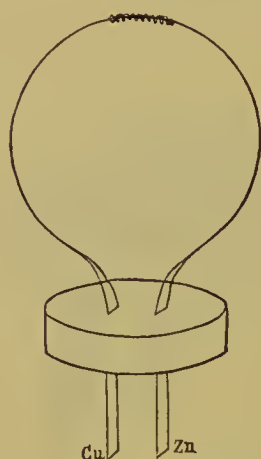


Fig. 366.

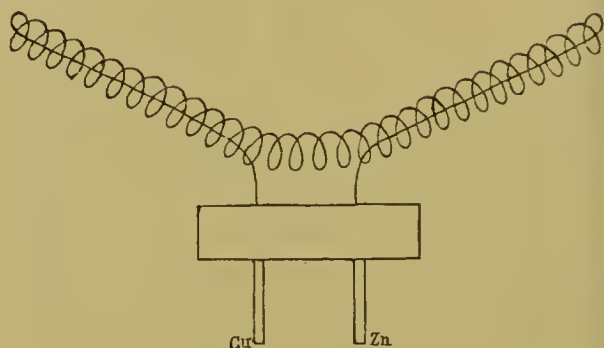


Fig. 367.

Kupfer- und eine Zinkplatte auslaufender, durch eine Korkplatte gesteckter Drahtbügel, der auf Wasser gesetzt in senkrechter Lage schwimmt, die letztere ebenso gebildet, nur dass an die Stelle des Bügels der größeren Empfindlichkeit wegen ein Solenoid tritt. Auf angesäuertes Wasser gesetzt, richten sich die Apparate so, dass die Ebene des Bügels oder der Solenoidwindungen sich senkrecht zum magnetischen Meridian stellen und bei dem ersten die Zinkplatte westlich von der Kupferplatte liegt.

Ebenso wie demnach Ampères Untersuchungen über den Erdmagnetismus zu einer Anzahl weiterer Arbeiten über den nämlichen Gegenstand anregten, so wurde auch seine Konstruktion des Galvanometers der Ausgangspunkt zur Herstellung vollkommenerer Apparate. Solche machten die Entdeckung der Thermoströme, von der sogleich die Rede sein soll, im höchsten Grade wünschenswert und so suchte man auf dem von Ampère beschrittenen Wege Apparate von der erforderlichen Empfindlichkeit zu erhalten, indem man neben Magnetnadeln, die von der Wirkung der Richtkraft der Erde möglichst befreit waren, den Multiplikator Schweiggers zur Anwendung brachte.

Sehr eigenartig ist die Art, wie J. Cumming³⁾ (1777—1861) 1824 bei der Konstruktion eines »Galvanoskopes« die Astasie der Nadel zu erreichen

1) A. de la Rive, Annales de Chimie et de Physique. 1821. T. 21. S. 24 ff.

2) G. de la Rive, Bibliothèque universelle de Genève. 1821. T. 16. S. 201.

3) Cumming, Journal für Chemie und Physik. 1824. Bd. 40. S. 328.

suehte. Es ist in Fig. 36S abgebildet; »A, K sind zwei mit Quecksilber angefüllte Nöpfchen«, beschreibt es Cumming, »welche mit den galvanischen Platten verbunden werden. ABCDEFGHK ist ein um die Magnetnadel spiralförmig gewickelter Draht; *abc*, *def* sind Messingdrähte, welche an dem Galvanoskop befestigt sind und auf welchen sich die Drähte *bg* und *eh* verschieben lassen, *ik* und *lm* sind zwei Magnetstäbe, die von den Drähten *bg* und *eh* getragen werden und dazu dienen, die Magnetnadel zu neutralisieren. *opqr* ist ein an dem Galvanoskop befestigter Messingdraht, an welchem ein kleiner, um *qr* drehbarer Magnet befestigt ist«.

»Das Galvanoskop wird in die Richtung von Westen nach Osten gestellt; in dieser Richtung befindet sich auch die Ebene der Spirale, in welche dann auch die Magnetnadel durch die Wirkung der Magnetstäbe gestellt wird«.

»Es ist nötig, dass der die Spirale bildende Draht nicht weniger als $\frac{1}{25}$ Linie Durchmesser habe, und dass die Spirale wenigstens 4 bis 5 Windungen habe und sich so nahe wie möglich an der Nadel befinde.«

Cumming hebt also die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel mittels kompensierender Magnete, die er als der erste anwendete, auf. Wenn auch sein Galvanoskop zu mühsam zu behandeln war, um zu häufigerem Gebrauch zu gelangen, so sind doch solche Richtmagnete gerade in der neueren und neuesten Zeit sehr häufig angewendet. Das Bedürfnis, dies Galvanoskop bequemer zu machen, trat zudem deshalb nicht hervor, weil bereits ein Jahr nach der Veröffentlichung Cumming's Nobili (1779—1835) den von Ampère nach Erfindung des astatischen Nadelpaares noch übrig gelassenen Schritt zur Herstellung eines leicht zu handhabenden und höchst empfindlichen Galvanometers that, der lediglich in der Vereinigung der astatischen Nadel mit dem Multiplikator bestand und dessen Ergebnis die Konstruktion des Strommessers war, welche bis zum heutigen Tage in unveränderter Form überall verwendet wird.

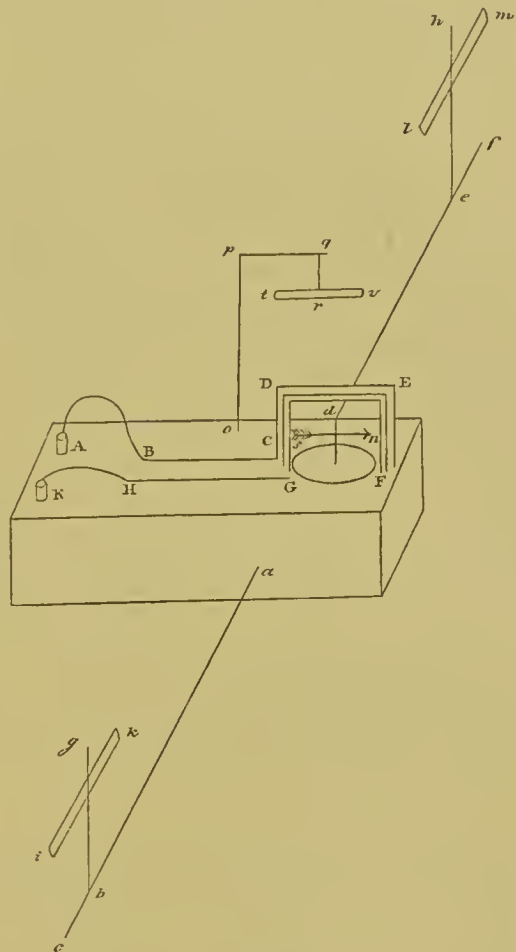


Fig. 36S.

Fig. 369 zeigt das Gestell zur Aufnahme des Multiplikator drahtes in perspektivischer Ansicht, Fig. 370 die des astatischen Nadelpaares von der Seite. »Das Instrument«, so beschreibt Nobili¹⁾ sein Galvanometer, »weicht nur in einem Punkte wesentlich von dem Galvanometer oder Multiplikator Schweiggers ab; statt einer Magnetnadel innerhalb des Gestelles, um das

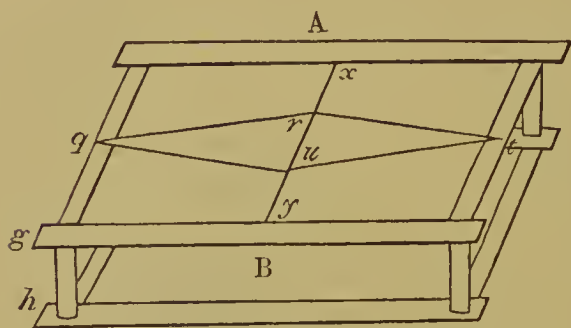


Fig. 369.

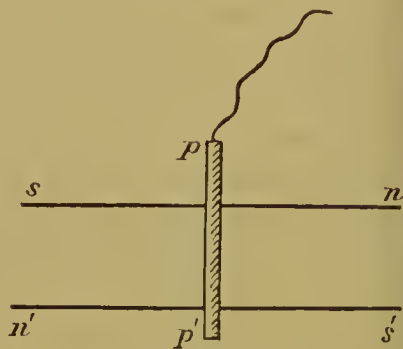


Fig. 370.

der Leitungsdraht geschlungen ist, habe ich mein Galvanometer mit zwei Nadeln versehen, die von gleichen Dimensionen, in paralleler Richtung an einem Strohhalme derartig befestigt sind, dass dieser durch den Mittelpunkt beider hindurchgeht, und die zugleich einander entgegengesetzt magnetisiert sind, so dass der Nordpol der einen dem Südpol der anderen entspricht. Ihre Entfernung von einander und die Länge des Strohhalmes, an welchem sie aufgehängt sind, ist auf eine Weise eingerichtet, welche die freie Drehung der Nadel möglich macht: der einen innerhalb des Gestelles und der anderen unmittelbar über demselben. Diese Anordnung zu erhalten und die untere Nadel in das Innere des Gestelles einführen zu können, trennt man am besten das Drahtgestelle in zwei gleiche Bündel, die man dermaßen gegen die Seiten des Gestelles andrängt, dass dadurch eine rhomboidale Öffnung gebildet wird, welche weit genug ist, um die Nadel hindurchzulassen [qutr, Fig. 369].

»Der graduierte Kreis, auf dem die Ablenkung gemessen wird, ist bei meinem Instrument zwischen der oberen Nadel und der oberen Fläche des Gestelles angebracht und mit einer ähnlichen Öffnung für das Einbringen der Nadel versehen. Auf diese Weise dient die eine Nadel als Zeiger, und die andere ist nur an den Seiten des Gestelles sichtbar.«

Schweigger änderte den Nobilisehen Apparat dahin ab, dass er jede Nadel mit einer Multiplikatorschleife umgab. Aneh diese Form des Galvanometers ist noch in Anwendung.

1) Nobili, Bibliothèque universelle de Genève. 1825. T. 29. S. 119. Journal für Chemie und Physik. 1825. Bd. 45. S. 249.

S. Seebeck und Ohm. Die Thermoströme und das Ohm'sche Gesetz.

Je mehr die Versuche Oersted's wiederholt wurden, desto deutlicher trat hervor, dass noch manches bei ihnen Beobachtete der Aufklärung bedürftig war, wie denn zur Zeit ihrer Veröffentlichung im Jahre 1820 die Wissenschaft über klare Vorstellungen vom elektrischen Strome durchaus noch nicht verfügte. Deshalb unterwarf Thomas Seebeck (1770—1831) die Experimente Oersted's einer erneuten Prüfung und es glückte ihm bei dieser Arbeit eine ganz neue Art der Stromerregung zu entdecken¹⁾. Er wollte »Ersehnungen, welche ihm anzudeuten schienen, dass auch wohl zwei Metalle für sich, kreisförmig miteinander verbunden, ohne Mitwirkung irgend eines feuchten Leiters magnetisch werden«, auf die Magnetnadel ablenkend wirken möchten, genauer untersuchen und wählte zu diesen Versuchen zwei Metalle, welche er »als Glieder in den gewöhnlichen galvanischen Ketten mit Kupfer verbunden in manchen Stücken abweichend und veränderlich gefunden hatte, Wismut und Antimon«. Auf eine runde Kupferseibe *B* (Fig. 371), die auf dem einem Ende *b* eines spiralförmig gewundenen Kupferstreifens *KK* lag, legte er eine Wismutseibe und beobachtete eine Ablenkung der innerhalb der Spirale aufgestellten Magnetnadel, wenn er auf die Wismutseibe das andere Ende der

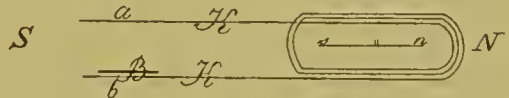


Fig. 371.

Spirale *a* mit dem Finger anpresste. Das nämliche beobachtete er, wenn er anstatt der Wismut- eine Antimonseibe nahm, nur wurde dann die Nadel im entgegengesetzten Sinne abgelenkt. Der Finger konnte dabei nicht die Rolle des feuchten Leiters übernehmen. Denn wenn das obere Ende der Spirale vermittelt einer mit Salzwasser benetzten Pappseibe auf die Wismutseibe gedrückt wurde, so erfolgte die Ablenkung der Magnetnadel im entgegengesetzten Sinne und war dieselbe, wie bei Anwendung der Antimonseibe oder einem beliebigen anderen Metalle.

»Bei allen diesen Versuchen«, so schildert Seebeck²⁾ die Art, wie er die wahre Ursache der Ablenkung der Magnetnadel fand, »war die Wirkung am stärksten, wenn die Metalle und Erze unmittelbar mit der Hand berührt wurden, sie waren schwächer, wenn die Schließung mit dünnen Zwischenkörpern geschah (welche aber nicht zwischen der Spirale und dem zu untersuchenden Metall oder Erz liegen durften, wenn sie

1) Seebeck, Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz. Abhandlungen der Berliner Akademie der Wissenschaften 1822—1823. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften. Nr. 70. Leipzig 1895.

2) Seebeck, a. a. O. S. 270.

unmetallische waren, sondern auf beiden), ja es fiel jede Wirkung auf die Magnetnadel weg, wenn die Enden der Spirale mit zwei Fuß langen Glas-, Holz- oder Metallstangen auf die Metallscheiben niedergedrückt wurden. Doch bald zeigte sich eine Bewegung der Magnetnadel, wenn die Hand an das untere Ende der Metallstangen, nahe dem Orte, wo sie den Bogen berührten, gelegt wurde, und wenn sie dort einige Zeit verweilte. Nach diesen Erfahrungen musste sich der Gedanke aufdrängen, dass nur die Wärme, welche sich von der Hand dem einen Berührungspunkte der Metalle stärker mittheilte, die Ursache des Magnetismus in diesen zweigliedrigen Ketten sein möchte.«

Dafür war es aber Bedingung, dass sich die Metalle berührten. Eine starke Bedeckung mit Oxyd an den Berührungspunkten hob die Wirkung auf. Ebenso wirkte ein nach Anweisung von Fig. 372 zwischen Antimon

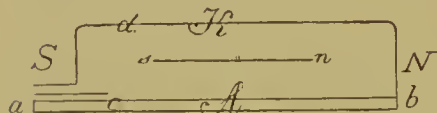


Fig. 372.

(A) und Kupfer (K) in *a* geschobenes Papierseheibchen; es zeigte sich keine Wirkung auf die Magnetnadel, wenn auch der Punkt *b* erwärmt wurde. Wurde das Papier mit Wasser befeuchtet, so änderte dies nichts, wurde es mit Salzsäure getränkt, so zeigte sich die Wirkung der eine

galvanische Kette bildenden Kombination auf die Nadel. So kommt Seebeek zu dem Schlusse¹⁾, »dass die erste und wichtigste Bedingung der Erseheinung des freien Magnetismus in diesen metallischen Kreisen Differenz der Temperatur an den beiden Berührungspunkten der Glieder ist«, wobei unter freiem Magnetismus der die Magnetnadel ablenkende Strom zu verstehen ist. Um die Berührung zu sichern, empfahl Seebeek die Berührungsflächen aneinander zu löten und gab bereits n. a. die in Figg. 373 und 374 dargestellte Form der Thermoelemente an, welche auch

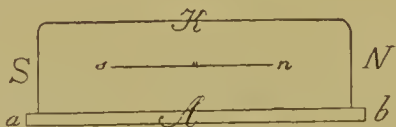


Fig. 373.

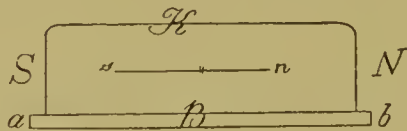


Fig. 374.

jetzt noch in den Vorlesungen zum Nachweise der Thermoelektrizität benutzt werden. Dabei bedeutet *A* einen Antimon-, *B* einen Wismutstab, *K* einen Kupferdraht. Seebeek untersuchte sodann alle ihm zugänglichen Metalle und stellte sie in einer Reihe zusammen, welche ihr gegenseitiges thermoelektrisches Verhalten bestimmen ließ. Diese thermoelektrische Spannungsreihe, die er im Februar 1822 der Akademie der Wissenschaften vorlegte, ist später mit empfindlicheren Messapparaten fast vollständig bestätigt worden.

1) Seebeek, a. a. O. S. 273.

Der in Fig. 375 dargestellte Apparat diente ihm sodann dazu, »die magnetische Polarisation von Ketten, welche aus mehreren einzelnen Gliedern oder Gliederpaaren bestehen« zu untersuchen, der abgebildete im



Fig. 375.

besonderen für drei Metalle, nämlich Antimon, Wismut und Kupfer. Auch in diesem Falle fand er das Gesetz bestätigt. Erwärmte er *c*, so erhielt er die entgegengesetzte Ablenkung der Nadel, als beim Erwärmen von *a* und *b*.

Die von Seebeck benutzten galvanometrischen Vorrichtungen waren viel zu unempfindlich, als dass er an ihnen einen Ausschlag bei geringen Wärmeunterschieden der Lötstellen hätte beobachten können. Dazu konnten die Thermoelemente erst in Verbindung sehr empfindlicher Galvanometer dienen und so blieb Nobili¹⁾ die Entdeckung vorbehalten, dass sich auf solche Weise sehr kleine Temperaturänderungen beobachten ließen. Er stellte zu diesem Behufe 1830 seine Pila a scatola, sechs in einem Kreis gestellte Antimon-Wismutelemente zusammen²⁾, der er 1835 die noch empfindlichere Pila a raggi, welche Fig. 376 wiedergiebt, zur Seite stellte; 12 Thermoelemente, welche als Radien eines Kreises aufgestellt waren, bilden sie³⁾. Unter dessen hatte 1830 Melloni⁴⁾ (1798—1854) mit einer aus 16 Elementen zusammengestellten Säule, deren Wirkung für den Nachweis von Wärmestrahlen er noch durch Zufügung eines konischen Reflektors verstärkte, seine Untersuchungen begonnen, die in das Gebiet der strahlenden Wärme zuerst Klarheit brachten.

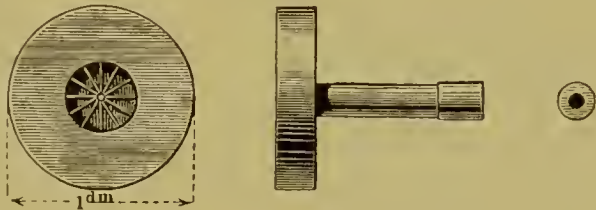


Fig. 376.

Seebecks Ausdrucksweise weicht, wie der Leser bereits aus den wenigen im Wortlaut mitgeteilten Stellen entnommen haben wird, vielfach von der jetzt gewohnten ab. Es kann das nicht verwundern, da ja, wie bereits erwähnt wurde, zu der Zeit, in der er seine Versuche anstellte,

1) Nobili, Poggendorffs Annalen. 1830. Bd. 20. S. 245.

2) Ebenda. S. 246.

3) Ebenda. 1835. Bd. 36. S. 526. Gerland in Hofmanns Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate in London. Braunschweig 1878. S. 97.

4) Ebenda. 1830. Bd. 20. S. 250.

noch so wenig Klarheit über den elektrischen Strom herrschte. Wenn nun diese auch erst durch Aufstellung des Ohm'schen Gesetzes geschaffen wurde, so hat sich doch auch bereits Seebeck zu richtigen Vorstellungen durchgearbeitet. So nimmt er wenigstens einen Teil dieses Gesetzes vorweg, wenn er sagt¹⁾, »dass die durch Vergrößerung der Temperatur-Differenz in den vielgliedrigen metallischen Ketten zu gewinnende Verstärkung des Magnetismus durch Vermehrung der Länge der schlechteren Wärmeleiter eine Verminderung erleidet, woraus folgt, dass die Stärke der magnetischen Polarisation [also Stromstärke] dieser Ketten überhaupt im umgekehrten Verhältnis zu der Länge der Leiter steht«.

Ohm veröffentlichte sein Gesetz 1825 zugleich mit den Versuchen, die es bestätigten. Als Stromquelle nahm er anfangs eine Voltasche Säule. Da sie sich aber als zu unbeständig erwies, so wandte er nachher eine Thermosäule an, welche er mit seinem Messapparat vereinigte. Diesen nennt Ohm eine Conlombsche Drehwage von besonderer Einrichtung; wir würden sie ein Torsionsgalvanometer zu nennen haben. Sie ist in

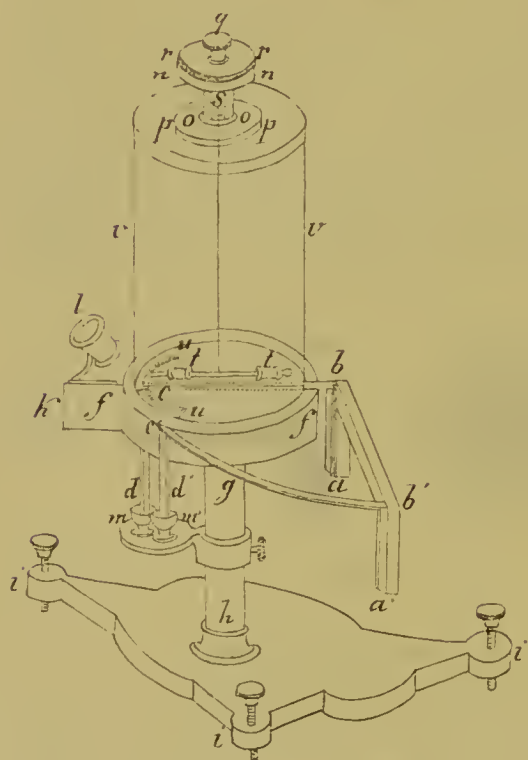


Fig. 377.

Fig. 377 dargestellt. Der Apparat²⁾ wird von der Säule *gh* getragen, die durch die Stellschrauben *i* senkrecht gestellt werden kann. Auf ihr ruht zunächst die Platte *ff*, die wiederum den 6 Zoll hohen und $4\frac{1}{2}$ Zoll weiten Glascylinder *vv*, dieser die Anhängenvorrichtung der Nadel *tt* trägt. Die Anhängenvorrichtung beschreibt Ohm folgendermaßen: »Sie besteht aus zwei Teilen, wovon der eine *nop* mit einer schwach konischen Höhlung versehen und auf der oberen Platte des Cylinders festgekittet ist, der andere *qrs* mit seinem 8 Linien dicken konisch auslaufendem Zapfen in die Höhlung des ersten genau passt und mit seiner 3 Zoll breiten Scheibe *rr* auf der ebenso breiten Scheibe *nn* des ersten Teiles anliegt. An dem Zapfen *qs* ist

mit großer Sorgfalt auf der Drehbank der Mittelpunkt der Drehung durch eine zarte konische Vertiefung angemerkt und hierauf derselbe auf

1) Seebeck, Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Berlin 1822 und 1823. S. 291.

2) Ohm, Schweiggers Journal. 1826. Bd. 46. S. 137.

einen halben Zoll seiner Länge so lange abgefeilt worden, bis sich auf der dadurch entstandenen ebenen Fläche jene konische Vertiefung als ein vollständiges Dreieck darstellte. Durch eine besondere Vorrichtung wird der Faden, an welchem die Nadel hängt, so an den Zapfen geklemmt, dass seine Mitte genau in die Spitze des Dreieckes fällt«.

»Die Magnetnadel *tt* ist aus 0,8 Linien dicken Stahldraht verfertigt und nicht volle 2 Zoll lang, ihre beiden Enden sitzen in cylindrischen Stücken Elfenbein, deren eines einen zart zugespitzten, nach unten etwas umgebogenen Messingdraht in sich trägt. Diese messingene Spitze, die als Zeiger dient, liegt dicht über dem auf dem Gestelle ruhenden, in Grade eingeteilten Bogen von Messing *uu*... Die so zubereitete Nadel wird von einem 5 Zoll langen Streifen Goldlahn getragen, der an der Drehwage genau im Mittelpunkt der Drehung befestigt ist.« Der Lahn bietet den Vorteil, dass nach jeder Ablenkung die Nadel mit Genauigkeit in ihre ursprüngliche Lage zurückgeht. Mit Hilfe der Lupe *l* wurde der Stand des Zeigers abgelesen.

Den Strom lieferte ein Thermoelement, welches aus dem Wismutstab *abb,a*, (Fig. 377) und den angelöteten Kupferdrähten *abc* und *a'b'e'* bestand,

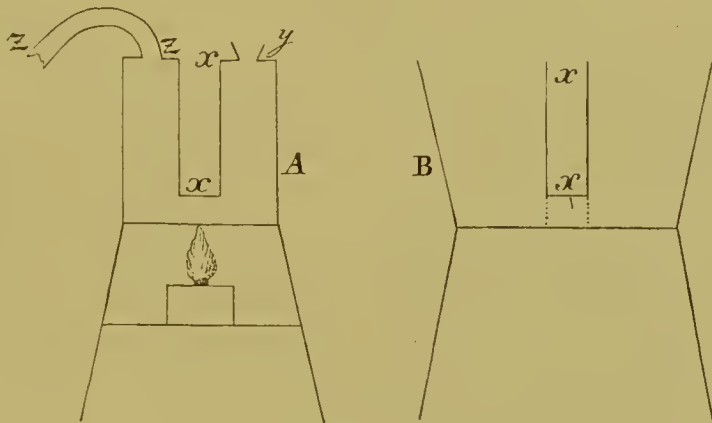


Fig. 378.

deren nach unten gebogene Enden in die Quecksilbernapfchen *m, m'* tauchten. Der Draht *ab* ging durch den Glaseylinder, so dass die Nadel in der Ruhelage über ihm stand. Um das Element in Wirksamkeit zu setzen, wurde jede der beiden Lötstellen in den inneren Raum *xx* eines doppelwandigen Gefäßes, Fig. 378, gesetzt, von denen das eine *A* mit Wasser gefüllt, das andere *B* mit schmelzendem Eis beschickt werden konnte. Das Wasser in *A* wurde durch eine untergestellte Lampe ins Sieden gebracht und darin erhalten, während der Dampf durch *zz* entweichen konnte. Der so erregte Strom lenkte die Nadel ab. Durch Torsion des die Nadel tragenden dünnen Metallstreifens wurde sie dann in ihre Ruhelage zurückgebracht und die Torsion abgelesen. Der genaueren Einstellung wegen war ein Seidenfaden unter der Nadel ihrer Ruhelage parallel gespannt

und l so eingestellt, dass dann der Zeiger an tt gerade über dem Faden erschien. Zu seinen Versuchen benutzte Ohm Drähte von 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66 und 130 Zoll Länge und $\frac{7}{8}$ Linie Dicke. Die Beobachtungen ließen sich mit Hilfe des Gesetzes

$$X = \frac{a}{b + x}$$

wo X die Stärke der magnetischen Wirkung auf den Leiter, dessen Länge x ist, a und b zwei von der erregenden Kraft und dem Leitungswiderstande abhängige konstante Größen bedeuten, wiedergeben.

Anfangs fand das Ohmsche Gesetz, obwohl es sein Urheber 1827 in einer besonderen Schrift mathematisch begründete, nur wenig Beachtung. Das änderte sich aber bald, als Fechner¹⁾ im Jahre 1831, Pouillet²⁾ (1790—1868) 1837 Ohms Versuche wiederholten, als Pouillet mit der zu diesem Zwecke konstruierten Tangentenbussole für seine Richtigkeit eintrat, Poggendorff³⁾ diese Untersuchungen in Deutschland bekannt machte.

9. Faraday und die Induktion.

Während es Ampère und Ohm, von Oersteds Entdeckungen ausgehend, gelungen war, die bei ihnen in Betracht kommenden Erscheinungen in ihrem Zusammenhange klarzulegen, während Seebeck von demselben Ausgangspunkte die Thatsachen der Thermoelektrizität aufgefunden und eingehend untersucht hatte, war es Michael Faraday (1791—1867) vorbehalten, in einer großen Reihe von meisterhaften Experimentaluntersuchungen auf elektrischem und magnetischem Gebiete eine solche Fülle von neuem Material dem vorhandenen zuzufügen, dass es nun fast den Anschein hatte, als sei auf den von ihm durchforschten Gebieten in der That alles, was zu entdecken war, entdeckt. Zwar war Faraday von Ampères und Aragos Untersuchungen ausgegangen, aber die abstrakten Anschauungen des ersteren Forschers, dessen von Haus aus mathematischer Denkweise eine Wirkung in die Ferne ohne sie vermittelndes Medium keine Schwierigkeiten bot, war er nicht im stande zu den seinigen zu machen, und so richteten sich seine Untersuchungen nicht allein auf die Träger der Kräfte, sondern namentlich auch auf den ihre Wirkungen vermittelnden Raum, den er mit den Kraftlinien bevölkerte. So schuf er die Anschauungen, die, nachdem sie von Maxwell in mathematische Form gebracht worden sind, die Grundlage der neueren elektrischen Lehren und namentlich der Elektrotechnik abgeben. Ist somit ein Teil der Faradayschen Forschungen durchaus modern und auf ihn von uns hier somit nicht einzugehen, so

1) Fechner, Maaßbestimmungen über die galvanische Kette. Leipzig 1831.

2) Pouillet, Comptes Rendus. 1837. T. 4.

3) Poggendorffs Annalen. 1837. Bd. 42. S. 281.

bietet sich ein anderer unserer Darstellung dar. Namentlich müssen die Versuche und Apparate, mit deren Hilfe er die Induktionserscheinungen auffand, Gegenstand unserer Betrachtung sein.

Die Ergebnisse der Forschungen Faradays wirken deshalb so verblüffend, weil es unbegreiflich erschien, wie jemand auf den Gedanken, die jene Ergebnisse liefernden Versuche anzustellen, kommen konnte. Spricht nun gegen die Möglichkeit, dass hier der blinde Zufall im Spiele gewesen sei, bereits der ungemeine Reichtum an Entdeckungen, so hat auch Faraday uns seine Überlegungen mitgeteilt, die ihn in jedem Falle leiteten. Wie Papin geht er in folgerichtigem Denken Schritt für Schritt weiter und seine: »Experimental Researches«, die er seit dem Jahre 1832 in den Philosophical Transactions mitteilte und später in drei Bänden zusammengefasst noch einmal gesondert herausgab, gelten auch jetzt noch mit Recht als Muster experimenteller Untersuchungen.

Faradays früheste Arbeiten bewegten sich auf chemischem Gebiete, und auch hier hatte er sogleich einen Erfolg aufzuweisen, den man ihm anfangs nicht glauben wollte, es gelang ihm 1823, das Chlor durch Druck zu verflüssigen, die Verflüssigung eines zweiten Gases, der Kohlensäure, gelang erst 1835 dem Franzosen Thilorier. Doch hatte Faraday auch schon im Jahre 1821 seine erste Arbeit auf elektrischem Gebiete »über einige neue elektromagnetische Bewegungen und über die Theorie des Magnetismus« veröffentlicht. Wie er nun zu seinen Versuchen über die Induktion kam, das schildert er im Anfange seiner Experimentaluntersuchungen folgendermaßen¹⁾:

»Die der Spannungselektrizität eigentümliche Fähigkeit, einen entgegengesetzt elektrischen Zustand in ihrer Nähe hervorzurufen, bezeichnet man allgemein mit dem Namen Induktion. Da derselbe in die wissenschaftliche Sprache aufgenommen worden ist, so wird er auch passend in demselben allgemeinen Sinne gebraucht werden können, für die Fähigkeit elektrischer Ströme in ihnen unmittelbar benachbarten Körpern einen eigentümlichen, letzteren bis dahin fremden Zustand hervorzurufen. In diesem Sinne will ich mich dieses Ausdrucks bedienen«.

»Gewisse Induktionsvermögen elektrischer Ströme sind bereits erkannt und beschrieben worden: so die der Magnetisierung, ferner diejenigen, welche in Ampères Versuchen bei Annäherung einer Kupferscheibe an eine flache Spirale und in den von ihm wiederholten überraschenden Versuchen Aragos mit Elektromagneten auftraten, und vielleicht noch einige andere. Allein es war unwahrscheinlich, dass hiermit die Induktionswirkungen elektrischer Ströme erschöpft sein sollten, besonders deshalb, weil die bisher bekannten fast nur beim Eisen sich zeigen und somit eine unbegrenzte Anzahl von Körpern übrigblieb, auf welche, obschon sie der

¹⁾ Faraday, Experimentaluntersuchungen über Elektrizität. Deutsche Übersetzung von S. Kalischer. Berlin 1889. Bd. 1. S. 1 ff.

Induktion der Spannungselektrizität zweifellos unterworfen sind, eine Induktionswirkung der strömenden Elektrizität bisher nicht nachgewiesen worden ist«.

»Ob man nun ferner Ampères schöne Theorie annimmt oder eine andere, oder welchen Vorbehalt man hierbei macht, so wäre es doch höchst befremdend, dass ein elektrischer Strom, der ja eine seiner Intensität entsprechende magnetische Wirkung in einer zu seiner Bahn senkrechten Richtung ausübt, in guten, innerhalb seiner Wirkungssphäre befindlichen Leitern weder einen Strom induzieren, noch sonst eine merkliche, an Kraft diesem gleichwertige Wirkung hervorbringen sollte«.

»Diese Erwägungen und die daraus geschöpfte Hoffnung, Elektrizität durch gewöhnlichen Magnetismus hervorzurufen, haben mich zu verschiedenen Zeiten angeregt, Versuche anzustellen zur Erforschung der Induktionswirkungen elektrischer Ströme. Endlich bin ich zu positiven Resultaten gelangt, und ich sehe nicht nur meine Hoffnung erfüllt, sondern glaube auch den Schlüssel zur vollständigen Erklärung der magnetischen Erscheinungen Aragos gefunden und einen neuen Zustand entdeckt zu haben, welcher wahrscheinlich in einigen der wichtigsten Wirkungen elektrischer Ströme eine große Rolle spielt«.

Um nun die Wirkung eines vom Strome durchflossenen Leiters auf einen nahe benachbarten zu prüfen, wickelte Faraday 12 Kupferdrähte von je etwa 26 Fuß Länge und $\frac{1}{20}$ Zoll Dicke in Schraubenlinien auf einen Holzcylinder. Die einzelnen Windungen waren zum Zwecke der Isolation durch Zwirnsfäden, und die einzelnen Lagen durch Kaliko voneinander getrennt. Nachdem sie gewickelt waren, wurden die einzelnen Drahtlagen abwechselnd miteinander verbunden, so dass zwei voneinander isolierte Drahtrollen von je 155 Fuß Länge entstanden, die in nächster Nähe einander parallel verliefen. Die eine von ihnen wurde mit den Polen einer Voltaschen Säule von 100 Plattenpaaren, die andere mit den beiden Klemmen eines Galvanometers verbunden. Beim Öffnen und Schließen der Kette wurden Ströme beobachtet, die, wie auch eine Wiederholung des Versuches mit einer Batterie von 120 Plattenpaaren ergab, als einander entgegengesetzt gerichtet erkannt wurden. Doch zwangen die Versuche zu der Annahme, dass die Dauer dieser Ströme »nur eine augenblickliche ist¹⁾, dass sie mehr den Charakter einer elektrischen Welle, wie sie bei der Entladung einer Leidener Flasche entsteht, als den eines galvanischen Stromes zeigen, und dass sie deshalb, obschon sie das Galvanometer kaum beeinflussten, dennoch im stande sein würden, eine Stahlnadel zu magnetisieren«. Dass diese Annahme das richtige getroffen hatte, bewiesen spätere Versuche; sie zeigten auch, dass beim Nähern und Entfernen zweier Drahtrollen, von denen eine vom Strome durchflossen war, ebensolche Induktionsströme entstanden, die beim Annähern die nämliche Richtung des

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 3.

Stromes ergaben, wie in dem ersten Versuche durch dessen Schließen, beim Entfernen die entgegengesetzte. Volta-Induktion nannte Faraday diese Art der Stromerregung.

Um nun auch mit Hilfe von gewöhnlichem Magnetismus Elektrizität zu erregen, um magnetisch-elektrische Induktion zu erhalten, nahm Faraday¹⁾ einen in seinem Besitze befindlichen starken natürlichen Magneten aus Sibirien und umwickelte ihn mit einer Drahtspirale *b*, Fig. 379, aus welcher seine Pole *aa* herausragten. Das eine Ende der Spirale trug eine kleine blanke oder amalgamierte Kupferplatte *e*, das andere lief in die blanke oder amalgamierte Spitze *d* aus. Wurde nun der Magnet von seinem (nicht dargestellten) Anker abgerissen, so wurde dabei gleichzeitig *d* ein wenig von *e* entfernt, und zwischen beiden sprang ein Funke über.

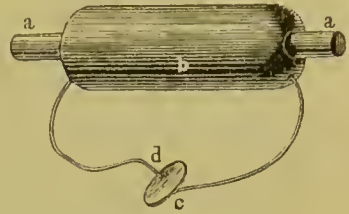


Fig. 379.

Faraday ersetzte dann den natürlichen Magnet durch einen Stab aus weichem Eisen, der durch künstliche Magnete ebenfalls magnetisch gemacht werden konnte. Den zu diesem Versuche dienenden Apparat zeigt Fig. 380²⁾.



Fig. 380.

»Um einen hohlen Cylinder aus Pappe wurde ein System von Spiralen, aus acht Lagen von zusammen 220 Fuß langem Kupferdraht bestehend, gewickelt«. Die diese Spule »zusammensetzenden Spiralen wurden sämtlich mittels zweier, je 5 Fuß langer Kupferdrähte mit dem Galvanometer verbunden und der Eisencylinder konaxial in den Hohlraum der ersteren hineingesteckt; zwei Stabmagnete von je 24 Zoll Länge wurden einerseits mit ihren ungleichnamigen Polen in Berührung gebracht, so dass sie einem Hufeisenmagneten glichen, andererseits an die Enden des Eisencylinders angelegt, um ihn vorübergehend in einen Magnet zu verwandeln; durch Aufhebung der Berührung der Magnete oder durch Umkehrung derselben konnte nach Belieben der Magnetismus des Eisencylinders vernichtet oder umgekehrt werden«.

»Bei Herstellung des magnetischen Kontaktes wurde die Nadel abgelenkt und nahm, wenn die Magnete an dem Eisencylinder angelegt blieben, ihre ursprüngliche Lage wieder ein; wurde dieser Kontakt aufgehoben, so wich die Nadel wiederum aus, aber nach der entgegengesetzten Richtung,

1) Gerland in Hofmanns Bericht über die Ausstellung wissenschaftlicher Apparate. Braunschweig 1878. S. 101.

2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 8 und 9.

wie im ersten Falle, und kehrte alsbald wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück. Die Umkehr der magnetischen Kontakte hatte auch eine Umkehr im Sinne der Ausweichungen der Nadel zur Folge.

Ein weiterer Versuch bezweckte darzuthun, dass auch die Bewegung eines Magneten gegen eine Spirale Induktionsströme in dieser hervorriefen. Dazu diente der Apparat, den Fig. 381 wiedergibt. In der Drahtspirale befand sich ein Magnetstab, der in ihr hin und her bewegt werden konnte. Wurde er in die Spirale geschoben oder herausgezogen, so schlug die Nadel jedesmal, aber in verschiedenem Sinne, aus, beim Hereinschieben so, als wenn der Magnet erst gebildet worden wäre.

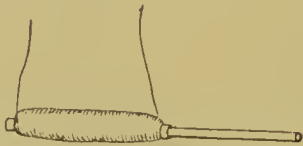


Fig. 381.

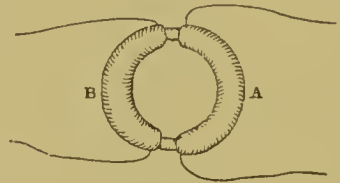


Fig. 382.

Endlich zeigte Faraday mit dem Apparate, Fig. 382, dass ein Elektromagnet die nämlichen Wirkungen wie ein gewöhnlicher Magnet zeige. Aus einem runden Stabe weichen Eisens von $\frac{7}{8}$ Zoll Dicke, so beschreibt er diesen Versuch¹⁾, »wurde ein Ring von 6 Zoll äußerem Durchmesser geschmiedet. Um einen Teil des Ringes wurden drei Spiralen von je 24 Fuß langem Kupferdrahte von $\frac{1}{12}$ Zoll Dicke gewickelt und . . . übereinander gelegt, von dem Eisenringe sowohl als auch voneinander isoliert; die Spiralen nahmen etwa 9 Zoll der Länge des Ringes ein und konnten einzeln oder miteinander verbunden werden; sie sind mit *A* bezeichnet. Um einen anderen Teil des Ringes wurde ein Spiralenpaar *B* von zusammen etwa 60 Fuß langem Kupferdrahte in demselben Sinne wie die Spirale *A* gewickelt. Zwischen den Enden der Spiralsysteme blieb ein Zwischenraum von einem halben Zoll unbedeckten Eisens«. Verband man nun die Enden des einen Drahtes mit den Polen einer Voltaschen Säule und schaltete in den anderen ein Galvanometer, so zeigte dieses eine Ablenkung in dem einen oder anderen Sinne, je nach der Richtung des Stromes. Auch mittels eines Funkens wies er den Induktionsstrom nach, indem er die Enden des Drahtes mit Kohlenspitzen versah. Der Funken trat jedesmal beim Schließen, seltner beim Öffnen des Stromes auf.

Es braucht wohl kaum bemerkt zu werden, dass Faradays Versuche über die Induktion, welche überall das größte Interesse erregten, vielfach wiederholt wurden. So stellt Fig. 383 den Apparat dar, mit dem Nobili und Antinori den in Fig. 379, S. 395, dargestellten Versuch mit dem natürlichen Magneten wiederholten. War ihr Apparat sehr viel kostbarer wie der,

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 7.

den Faraday benutzt hatte, so wirkte er dafür auch viel sicherer. Er bestand aus dem in einem Brette mit senkrecht übereinander befindlichen Polen befestigten starken Hufeisenmagnet *AB*, dessen Anker *C* durch einen Schlag mit der Hand auf den Hebel *D* abgerissen werden konnte. Der Anker bedeckte die Magnetpole nur zur Hälfte; er ist in seiner Mitte mit einer Spirale von Kupferdraht umwickelt, die in Federn endigten, welche die vom Anker nicht bedeckten Teile der Magnetpole berührten. Der Magnet schloss also die Spirale, wurde aber der Anker abgerissen, so wurde in den Spulen der Strom erregt und fast in demselben Augenblicke wieder unterbrochen. Hatten die Federn in der Ruhelage die Magnetpole gerade berührt, so trat beim Abreißen des

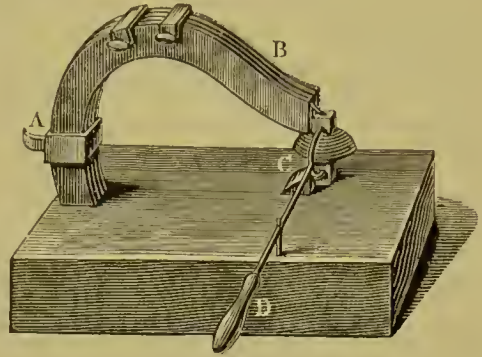


Fig. 383.

Ankers der Funken auf. Der Apparat ist auch deshalb merkwürdig, weil eine fehlerhafte Bezeichnung des Datums seiner Veröffentlichung Zweifel an der Priorität seiner Erfindung durch Faraday zu gunsten der italienischen Forscher erregen konnte, die jener freilich von vornherein mit aller Energie zurückweisen zu müssen glaubte¹⁾.

Nachdem er die Wechselwirkung zwischen Magneten und Strömen klar gelegt hatte, konnte Faraday auch daran denken, den merkwürdigen Versuch Aragos, der unter der Bezeichnung des Rotationsmagnetismus bekannt geworden war, zu erklären. Handelte es sich bei diesem doch auch um Magnete, in deren Nähe sich Leiter bewegten und den Magneten auch Bewegungen erteilten. Es lag mithin die Annahme nahe, dass durch den Magneten in den Metallmassen Ströme erzeugt würden, welche anziehend oder wiederum abstoßend auf ihn wirkten. Um diese Annahme zu prüfen, benutzte Faraday ein der königlichen Gesellschaft gehöriges großes, noch von Knight stammendes magnetisches Magazin, das aus 450 Stabmagneten von 15 Zoll Länge, 1 Zoll Breite und $\frac{1}{2}$ Zoll Dicke bestand und so in einem Kasten angeordnet war, dass es an einem Ende desselben zwei äußere Pole darbot. »Um²⁾ die Pole zu verstärken und sie einander näher zu bringen, wurden zwei etwa 6 oder 7 Zoll lange, 1 Zoll breite und $\frac{1}{2}$ Zoll dicke Eisen- oder Stahlstäbe quer über die Pole gelegt (Fig. 384, S. 398), und da sie durch eine Schnur am Abgleiten gehindert waren, so konnte ihr Abstand beliebig variiert werden . . . Eine auf einer Messingachse befestigte Kupferscheibe von 12 Zoll Durchmesser und etwa $\frac{1}{3}$ Zoll Dicke wurde so

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 37. Vgl. Gerland in Hofmanns Bericht u. s. w. Bd. 1. S. 102.

2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 23 ff.

an einem Gestelle angebracht, dass sie sich in vertikaler oder horizontaler Richtung drehen konnte, während sie mit ihrem Rande mehr oder weniger weit zwischen die Magnetpole hineinragte. Der Rand der Scheibe war

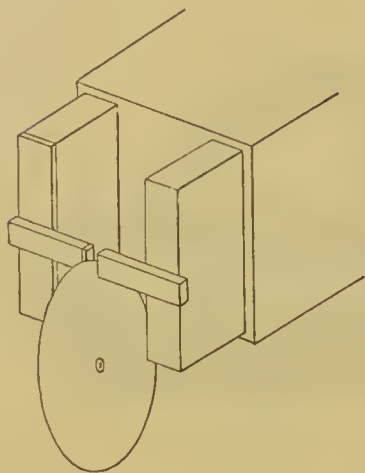


Fig. 384.

sorgfältig amalgamiert, um einen guten, aber gleitenden Kontakt zu erhalten, und ein Teil der Achse war in ähnlicher Weise behandelt. Gegen den Rand der Kupferscheibe . . . wurden kupferne oder bleierne Ableiter oder Kollektoren von etwa 4 Zoll Länge, $\frac{1}{3}$ Zoll Breite und $\frac{1}{5}$ Zoll Dicke angelegt. Das eine Ende derselben war zur Erzielung eines genaueren Anschlusses an den etwas konvexen Rand der Scheiben ein wenig ausgehöhlt und dann amalgamiert worden, von den anderen Enden dieser Leiterstücke führten durch Umwicklung mit ihnen verbundene Kupferdrähte von $\frac{1}{16}$ Zoll Dicke zum Galvanometer«, wie Fig. 385 zeigt. Der ausge-

zogene Ableiter zeigt die Stelle, wo er angebracht werden muss, die punktiert daneben gezeichneten bedenten Stellen, an denen auch Strom abgenommen werden kann, der aber eine schwächere Ablenkung des Galvano-

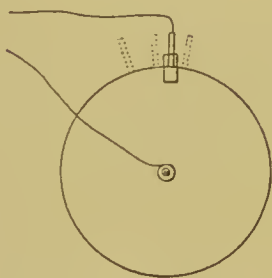


Fig. 385.

meters bewirkt. Jedenfalls war hiermit »der Beweis¹⁾ geliefert, dass ein dauernder elektrischer Strom durch gewöhnliche Magnete hervorgebracht werden kann« und damit der Gedanke der magneto-elektrischen Maschine ausgesprochen. In der That finden wir die ersten Bestrebungen, solche zu konstruieren, bei Faraday. »Zwei rohe Versuche machte ich«, erzählt²⁾ er darüber, »in der Absicht, magneto-elektrische Maschinen zu konstruieren. Einmal wurde aus einer dicken Kupfer-

platte ein Ring von $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite und 12 Zoll äußerem Durchmesser herausgeschnitten und so aufgestellt, dass er zwischen den Magnetpolen rotieren konnte . . . Die inneren und äußeren Ränder wurden amalgamiert und an jeden derselben, dicht bei den Polen, ein Ableiter angelegt. Der erregte elektrische Strom war, der Angabe des Galvanometers zufolge, nicht stärker, wenn überhaupt so stark, wie der von der kreisförmigen Scheibe abgeleitete. In dem anderen Falle wurden kleine dicke Scheiben aus Kupfer oder anderem Metalle von einem halben Zoll Durchmesser nahe den Polen in schnelle Rotation versetzt, wobei jedoch die Drehungsachse außerhalb der die Pole verbindenden Geraden lag; die erregte Elek-

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 25.

2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 35.

trizität wurde von Ableitern, die gegen die Ränder schleiften, gesammelt. Es wurden zwei Ströme erhalten, aber von viel geringerer Stärke als mit der kreisförmigen Scheibe.

Ehe wir diese so wichtig gewordene Anwendung der Magnetoinduktion weiter verfolgen, werfen wir auf die sonstigen Arbeiten Faradays einen Blick. Ihre ausführlichere Darstellung gehört in die Geschichte der Physik, aber nicht der Experimentierkunst der Physik, sind doch die angewendeten Apparate von derselben Einfachheit, wie die bereits geschilderten, während die Folgerichtigkeit in der Deutung, die Vielseitigkeit in der Prüfung, der Scharfsinn im Auffinden neuer Thatsachen derselbe bleibt.

Zunächst entdeckte Faraday den Extrastrom, die Induktionswirkungen der Teile eines und desselben Stromkreises aufeinander¹⁾. Sodann wendeten sich seine Untersuchungen mit solchem Erfolge der chemischen Zersetzung von Körpern durch den Strom zu, dass sie den Grund zu einer neuen Wissenschaft, der Elektrochemie, legten, die als Teil der physikalischen Chemie in neuester Zeit die chemischen Anschauungen von der Konstitution der Körper von Grund aus umgeändert hat. Die von ihm benutzten Apparate waren von der verschiedensten Art. Wir beschränken uns auf die Wiedergabe der Formen, die er dem Knallgasvoltameter gab, und können dies um so mehr thun, als viele derselben auch zu anderen Versuchen branchbar waren.

Aus den Beobachtungen, die Faraday mit dem in Fig. 386 dargestellten, oben luftdicht verschlossenen Apparate machte, erkannte er, dass

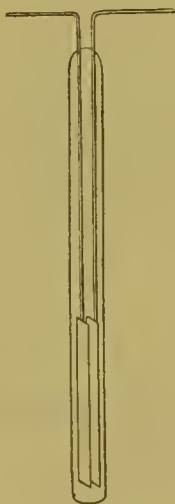


Fig. 386.



Fig. 387.



Fig. 388.

die Anode eine Wiedervereinigung der Gase bewirkte, die Kathode nicht¹⁾, und darans ergab sich ihm die Notwendigkeit, die Gase gesondert aufzufangen. Er brachte also²⁾ Fig. 387 die plattenförmige oder, Fig. 388, die

1) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 150.

2) Faraday, a. a. O. Bd. 1. S. 188.

ringförmige Elektrode in eine oben geschlossene Glasröhre, in deren obersten Teil der Zuleitungsdraht eingeschmolzen war und legte zwei solcher Röhren, wie Fig. 389 zeigt, in ein mit angesäuertem Wasser gefülltes Gefäß, oder

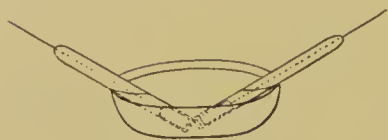


Fig. 389.



Fig. 390.

er wandte das Gefäß, Fig. 390, an, dessen eines Ende *a* geschlossen war, während aus dem offenen bei *b* das dort sich entwickelnde Gas entweichen



Fig. 391.

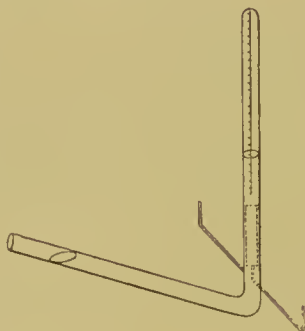


Fig. 392.

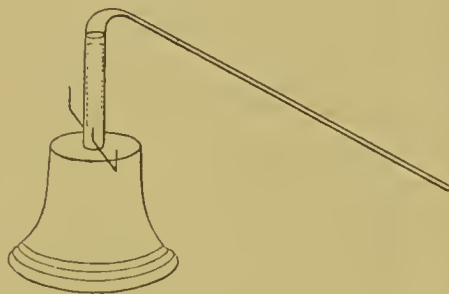


Fig. 393.

konnte. Endlich gab er den Instrumenten die ohne weiteres verständlichen Einrichtungen der Figuren 391, 392 und 393, die auch jetzt noch häufig genug verwendet werden.

Die Anwendungen des elektrischen Stromes zur magnet-elektrischen Maschine und der Telegraphie.

1. Die magnet-elektrische Maschine.

Faradays Pläne hinsichtlich der Herstellung einer magnetelektrischen Maschine suchte Ritchie (gest. 1837) in eine für ihre technische Verwendung brauchbare Form zu bringen. Doch ist es fraglich, ob ihm oder ob dem von Ampère zu seiner Arbeit angeregten Pariser Mechaniker Pixii die Priorität zukommt. Fertig gestellt wurden beide Maschinen in dem nämlichen Jahre 1832. Pixiis Apparat war ungemein einfach. Vor

den Polen einer Doppelspule mit hufeisenförmigem Eisenkerne drehte sich so ein Magnet, dass bei jeder Umdrehung die Pole beider zweimal vor einander standen. In dem die Enden der Spule schließenden Drahtkreise traten also Wechselströme auf. Bei der in Fig. 394 abgebildeten Maschine war dann unterhalb des Magneten noch ein Kommutator angebracht, der mittels Schleiffedern die der Maschine entnommenen Ströme in Gleichströme umwandelte¹⁾. Er wurde von Ampère ihr zugefügt, und mit unbedeutenden Änderungen wird diese Maschine auch jetzt noch von Stöhrer hergestellt.

1835 ersetzte Pohl²⁾ den permanenten Magneten dieser Maschine durch einen Elektromagneten, ohne damit an ihrer Einrichtung wesentliches zu ändern.

Die Maschine Ritchies zeigt Fig. 395 im Durchschnitte. Sie besteht aus dem feststehenden Magneten *M* und dem aus einer Achse und vier ihr parallelen, im Kreuze stehenden Eisenkernen, die die schraubenförmig aufgewickelten Kupferstreifen *rr* tragen. An die Enden der Streifen sind Drähte gelötet, von denen die von ihrem einen Ende ausgehenden auf den amalgamierten Kupferplatten *e* und *f* schleifend aufliegen, während die anderen durch die Achse gehen und ebenso die Platten *g* und *h* berühren. Das Spiel der Maschine beschreibt Ritchie³⁾ folgendermaßen: »Dreht man die Achse rasch um, so wird jeder Cylinder während seines

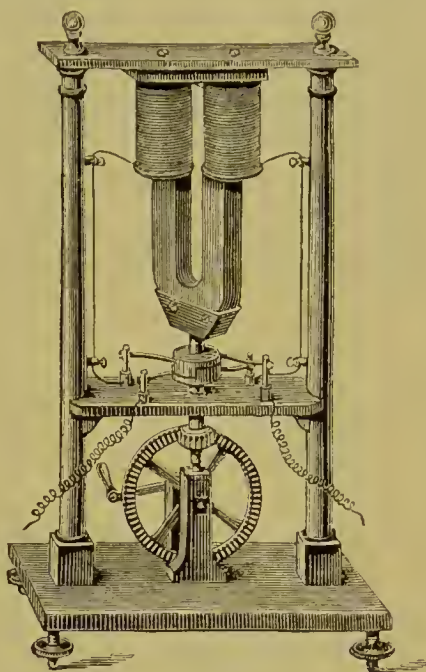


Fig. 394.

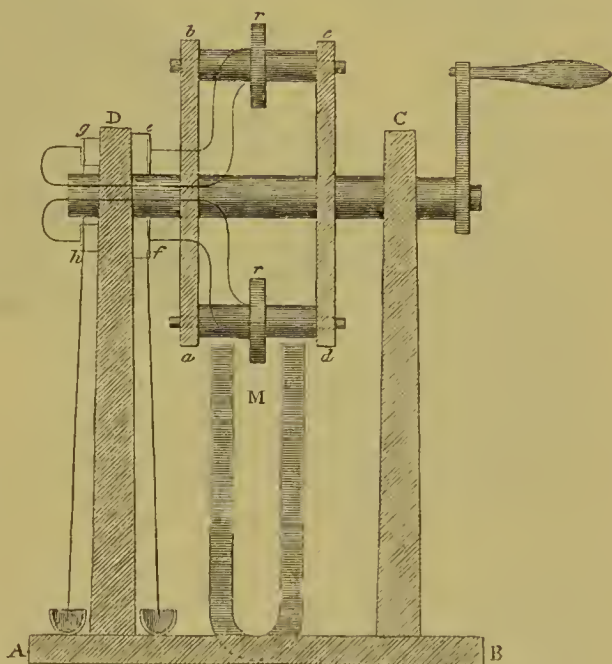


Fig. 395.

1) Annales de Chimie et de Physique. 1833. T. 50. S. 322. Doves Repertorium. I. Taf. 2. Fig. 4.

2) Pohl, Poggendorffs Annalen. 1835. Bd. 34. S. 500.

3) Ritchie, Philosophical Transactions. 1833. II. S. 320. Vgl. Poggendorffs Annalen. 1834. Bd. 32. S. 540.

Vorüberganges neben den Polen des Magneten ein temporärer Magnet und erregt dadurch in seinem Kupferstreifen einen elektrischen Zustand, der durch ein mit den beiden Näpfchen verbundenes Galvanometer oder auch sonst auf eine Weise sichtbar zu machen ist. Nach dem Vorübergange neben den Polen kehrt er rasch in den neutralen Zustand zurück und würde dadurch in dem Kupferstreifen einen elektrischen Zustand hervorbringen, wenn der Draht den Kupferbogen *gh* nicht zur rechten Zeit verließ. Wenn einer der Drähte den Bogen verlässt, tritt gerade ein anderer auf, so dass, wenn ein Strom zu wirken anhört, gerade ein anderer anfängt. Wir haben

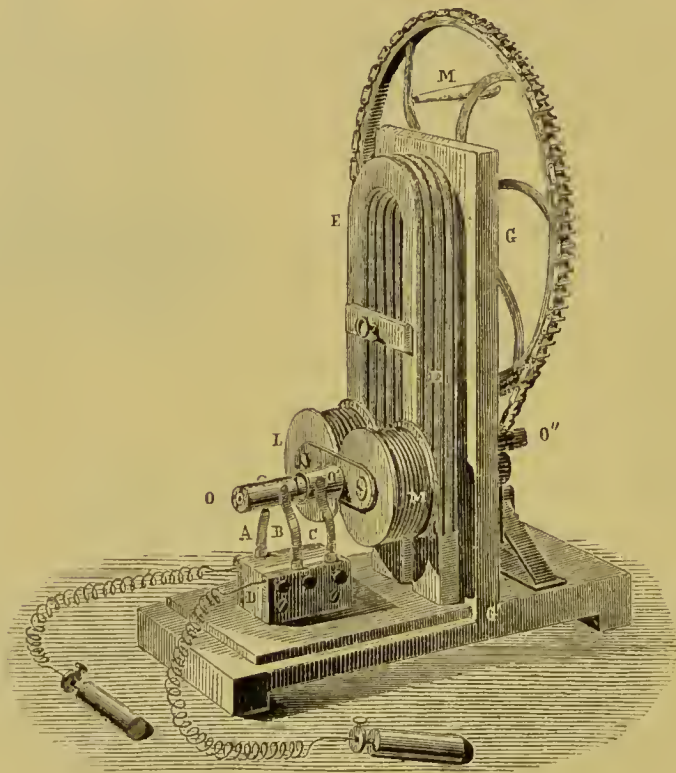


Fig. 396.

demnach eine Reihe Ströme von veränderlicher Natur, die rasch aufeinander folgen und alle in gleicher Richtung wirken. Dadurch entsteht ein Strom, der die Galvanometernadel fast stetig abgelenkt erhält . . . Befestigt man an einem der Träger an der Außenseite des zuvor beschriebenen Kupferbogens *gh* eine am Rande sägeartig mit Zähnen besetzte Kupferscheibe, lässt die Enden der Drähte auf diesen Zähnen herumgehen und verbindet diese Scheibe mit derjenigen, auf welcher die anderen Enden der Drähte im Kreise herumgeführt werden, so wird man, auf sehr nahe einem Quadranten, eine rasche Folge magneto-elektrischer Funken erhalten. Stellt man vier Magnete den vier Cylindern von weichem Eisen gegenüber auf, so wird fast der ganze Kreisumfang gleichzeitig erlenchtet und dadurch ein sehr schönes Schauspiel hervorgebracht werden.

Die Vorteile der Ritchieschen und der Pixiischen Maschine suchte Saxton¹⁾ und nach ihm und wohl nicht unabhängig von ihm Clarke²⁾ in ihren Maschinen zu vereinigen. Beide besaßen einen festen Hufeisenmagnet, den Saxton horizontal, Clarke vertikal angeordnet hatte und vor dessen Polen sich bei Saxton vier, bei Clarke, dessen Maschine Fig. 396 zeigt, zwei Drahtspulen in rascher Drehung herbewegen, in denen so der Strom induziert werden soll. Aber während sich die Spulen bei Saxton über den Magnetpolen vorbeibewegen, rotieren sie bei Clarke vor ihnen.

Während diese Maschinen den Zweck hatten, mechanische Arbeit in Strom zu verwandeln, so verfolgte Dal Negro³⁾ bei seiner 1834 konstruierten Maschine den entgegengesetzten Zweck, er suchte mit ihrer Hilfe den elektrischen Strom zu benutzen, um Arbeit zu leisten. Bei dem in Fig. 397 dargestellten Apparate handelte es sich darum, einen permanenten Magneten dauernd in Schwingungen zu erhalten. Zu diesem Zwecke war der um eine horizontale Achse drehbare permanente Magnet *A* so aufgestellt, dass sein oberes Ende zwischen den Polen des hufeisenförmigen Elektromagneten *E* hin und her pendeln konnte. Dabei drehte *A* mit dem Stäbchen *t*, das in die Gabel *F* eingriff, den Stromwender *C* so hin und her, dass die Ummagnetisierung von *E* die Bewegung des Pendels im Gange hielt. Der in Fig. 398, S. 404, abgebildete Apparat hatte einen horizontal pendelnden Magneten *LM*, der durch den Elektromagneten *E* und den Stromwender *C* in Bewegung gehalten wurde. Er bewegte mittels zweier Hebel, die wie Sperrkegel

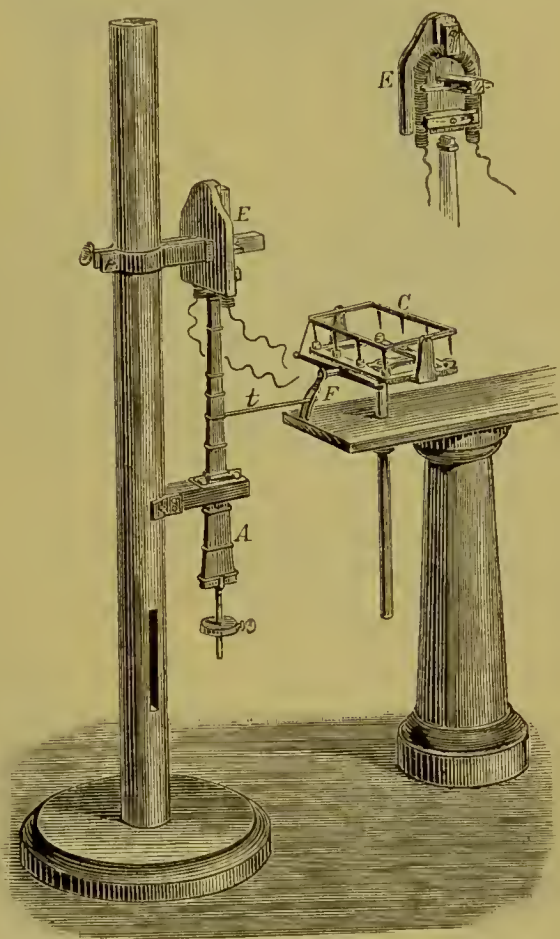


Fig. 397.

1) Saxton, Philosoph. Magazine. No. 5. Vol. 9. S. 360. Poggendorffs Annalen. 1836. Bd. 39. S. 461.

2) Poggendorffs Annalen. 1836. Bd. 39. Taf. IV. Fig. 6.

3) Vorsselman de Heer, Poggendorffs Annalen. 1839. Bd. 47. S. 46.

in Sperrrädchen griffen, die diese tragende Achse und setzte dadurch eine Reihe *B* von Schwungkugeln an Speichen in rotierende Bewegung.

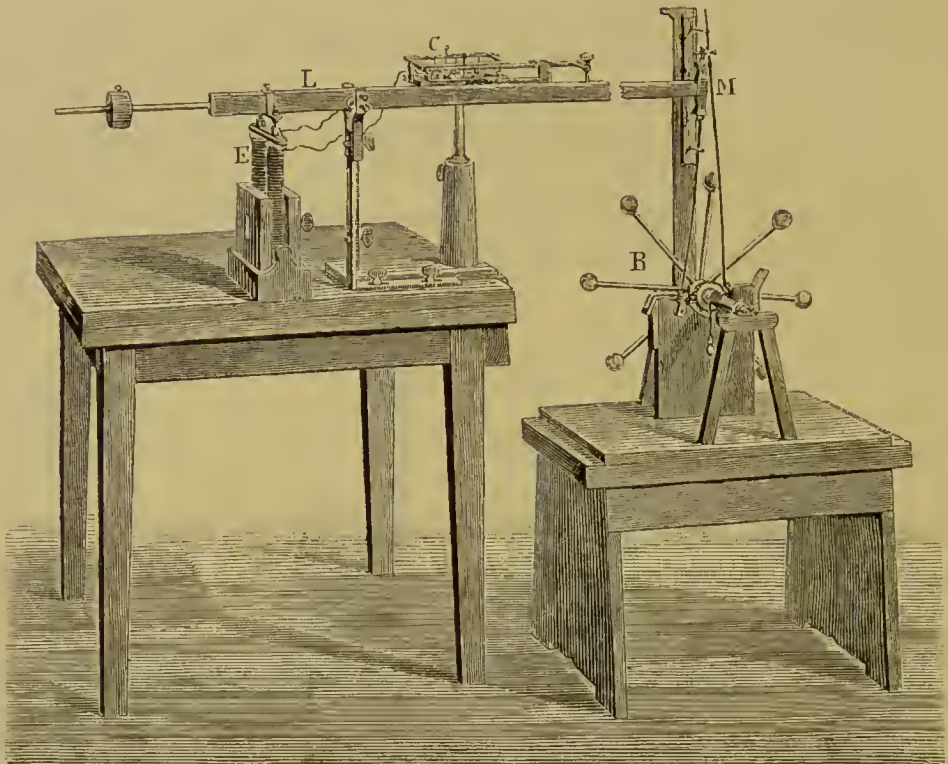


Fig. 398.

So konnte ein an einer um die Achse gewundenen Sehnur hängendes Gewicht gehoben werden¹⁾.

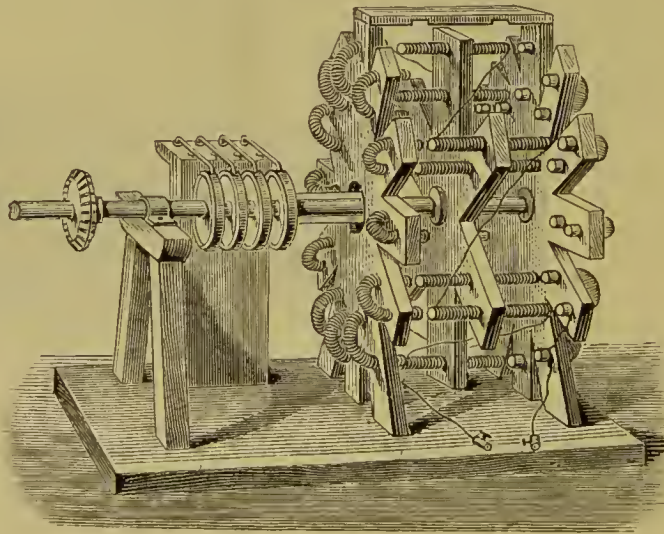


Fig. 399.

Die Apparate Dal Negros sind über den Standpunkt von Spielereien nicht herausgekommen; der erste elektrische Motor, der in technische Ver-

1) Albrecht, Geschichte der Elektrizität. Wien, Pest, Leipzig 1885. S. 250.

wendung genommen wurde, war der in Fig. 399 dargestellte, mit dem 1838 Jacobi¹⁾ (1801—1874) ein Boot auf der Newa in Bewegung setzte. Bei ihm kamen nur Elektromagnete zur Anwendung, zweimal zwölf hufeisenförmige, welche in zwei sternförmigen festen Gestellen saßen und zweimal acht ebensolche auf einer um eine Achse drehbaren eisernen achtarmigen Platte befestigte, deren Joeh die Platte bildete. Mit dieser Platte drehten sich vier auf der nämlichen Achse sitzende Scheiben, auf deren Rand Schleiffedern lagen, die den Strom einer Batterie um die Elektromagnete leiteten. Sie ermöglichten den Strom so um die sämtlichen Elektromagnete zu schicken, dass die Achse in dauernde Rotation versetzt wurde. Weitere Verwendung hat dieser Motor nicht gefunden.

2. Sömmering und der elektrochemische Telegraph.

Die Fähigkeit der Elektrizität, einen Draht von großer Länge in verschwindend kurzer Zeit zu durchlaufen, musste den Wunsch erregen, sie zur Mitteilung bestimmter Zeichen auf große Entfernungen zu benutzen. Die dabei zu lösende hauptsächliche Schwierigkeit war die Art der Zeichengebung am Empfangsorte und jede Art der Wirkung der bewegten Elektrizität wurde für den in Rede stehenden Zweck mit mehr oder minder Glück in Anwendung gebracht. Abgesehen von den Versuchen, die statische Elektrizität zum Telegraphieren anzuwenden, ist die Wasserzersetzung, die Ablenkung der Magnetnadel und die Magnetisierung eines Eisenkernes durch den Strom zum Zeichengeben benutzt worden.

Die Anwendung der von einer Reibungsselektrisiermaschine gelieferten Elektrizität, die man schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts vorschlug und welche 1774 in Genf Lesage (1724—1803), 1816 Ronalds²⁾ (1788—1873) zu verwirklichen suchten, gaben keine brauchbaren Resultate. Denn alle Versuche, die zu einer Einführung in die Technik hätten führen können, scheiterten an der Unmöglichkeit einer bei jedem Wetter genügenden Isolierung. Lesage wandte 25 Drähte an, für jeden Buchstaben einen, an deren Ende auf der Empfangsstation an leinenen Fäden Hollundermarkkugeln hingen, während Ronalds nur eines Drahtes mit den Hollundermarkkugeln bedurfte, welche durch eine an der Ausgangsstation aufgestellte geladene Leidener Flasche in Abstoßung gehalten wurden, bis der nämliche Buchstabe zweier damit versehener, gleich rasch rotierender Scheiben vor den Fenstern zweier festen Scheiben stand. Indem nun die Flasche in dem Augenblicke entladen wurde, in dem auf beiden Stationen der zu übermittelnde Buchstabe auf der beweglichen durch das Fenster der festen

1) Doves Repertorium. 1837. Bd. 1. S. 278.

2) Ronalds, Description of an electric telegraph and of some other electric apparatus. London 1823.

Scheibe gesehen wurde, war das Telegraphieren möglich. Zu der Schwierigkeit, den Draht genügend zu isolieren, kam hier noch die weitere der genauen Regelung der Geschwindigkeit der Scheiben und der verhältnismäßig langen Zeit, die zur Kenntnismachung eines Buchstabens nötig war.

Besser verwendbar war der optische Telegraph Hooke's, den 1792 Chappe (1763—1805) brauchbar gemacht hatte und der dieselbe Einrichtung besaß, wie die Apparate dieser Art, welche man heute noch zum Blockieren der Bahnhöfe verwendet. Er setzte seitdem Paris mit den Grenzen Frankreichs nach verschiedenen Richtungen hin in Verbindung und ihm hatte es 1809 Napoleon zu verdanken, dass er die Österreicher, welche ihm den Krieg erklärt hatten, überraschte, während sie noch nicht genügend vorbereitet waren, und so den Krieg von vornherein zu seinen Gunsten wendete. Da München dabei in unliebsame Mitleidenschaft gezogen war, so äußerte am 5. Juli 1809 der bayrische Minister Graf Montgelas dem Professor Sömmering (1755—1830) gegenüber, der sich damals bereits vielfach mit elektrischen Versuchen beschäftigt hatte, den Wunsch, von der Münchener Akademie »Vorschläge zu einem Telegraphen zu erhalten«¹⁾.

Sömmering nahm den Gedanken mit Lebhaftigkeit auf und fasste sofort den Plan, die strömende Elektrizität dazu zu benutzen. Er begann mit Versuchen in dieser Richtung und konnte schon am 8. Juli in seinem Tagebuche bemerken: »Die ersten Versuche gemacht, die Voltasche Säule zu einem Telegraphen zu verwenden, nämlich durch Gasentbindung Buchstaben an entfernten Orten zu bezeichnen. Die Batterie hatte fünfzehn Glieder (Brabanter Thaler, Filz mit gesättigter Kochsalzauflösung befeuchtet und Eisenplatten). Die fünf mit Schellack überzogenen Drähte scheinen



Fig. 400.

sehr gut isoliert zu sein; denn wenn man sie auch zusammendrehete, sprach doch jeder Draht, z. B. hier $+a$ und $-b$ genau an. NB. Hier gab b mehr als a an Gas, folglich kann man zwei Drähte zugleich ansprechen

1) Historische Notizen über Sam. Thom. von Sömmerings Erfindung des ersten galvanisch-elektrischen Telegraphen von Hofrat Dr. W. Sömmering. Jahresbericht des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a/M. 1857/58. S. 23.

lassen, der mehr Gas entwickelnde Hydrogendraht $-b$ zeigt den ersten, der Oxygendraht $+a$ den folgenden Buchstaben an« (vgl. Fig. 400). Nachdem er sich so von der Ausführbarkeit seiner Idee überzeugt hatte, ließ er von dem Mechaniker Settele in München die nötigen Apparate verfertigen und konnte bereits am 28. August der Münchener Akademie der Wissenschaften seinen Telegraphen vorzeigen, den Fig. 401 wiedergiebt¹⁾.

Er bestand aus der Voltaschen Säule A , dem Zeichengeber B , dem Zeichenempfänger C und dem Wecker D . Vom Zeichengeber und -empfänger sind einzelne Teile in Ansicht und Grundriss vergrößert dargestellt

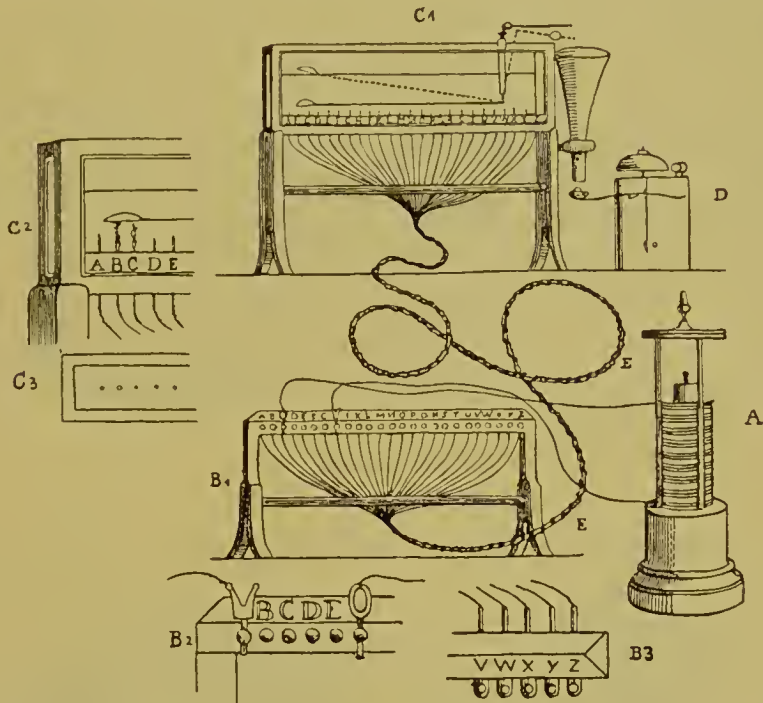


Fig. 401.

($B_2 B_3$ und $C_2 C_3$). Von den 24 Ösen (B_2 und B_3) führen Drähte zu dem in C_1 sichtbaren Goldstiften, welche durch den Korkboden des parallel-epipedischen Glastroges gesteckt worden sind, die Drähte sind aber zu einem Kabel EE_1 zusammengedreht worden. Jede Öse und der zugehörige Stift sind mit einem und demselben Buchstaben bezeichnet. Die Poldrähte der Batterie endigen in zwei Zäpfchen, die in die Löcher der Ösen gesteckt werden, wie aus B_2 ersichtlich ist. Es tritt dann an den zugehörigen Buchstaben in C_1 Wasserstoff und Sauerstoff auf und von den zwei so telegraphierten Buchstaben geht der, an dem der Wasserstoff auftritt, voran.

Der Wecker besteht aus einer gewöhnlichen Weckuhr, die in Thätigkeit gesetzt wird, wenn durch den an der Seite von C_1 angebrachten

1) Denkschriften der königlichen Akademie der Wissenschaften zu München 1809 und 1810. S. 401.

Glastrichter ein Metallkügelchen auf den Ausriekhebel fällt. Das Kügelchen ist auf den kurzen Arm eines zweimal rechtwinkelig gebogenen Hebels gesteckt, dessen längerer Arm in einem in die Flüssigkeit getauchten, nach oben konvexen Löffel endigt. Wird unter diesem Gas entwickelt, so hebt es den Arm mit dem Löffel in die Höhe, der mit der Kugel sinkt herab, diese gleitet ab und rückt den Wecker aus. Das Kabel bestand aus Kupferdrähten, die mit Kautschuk, der in Naphtha aufgelöst worden war, bestrichen und dann mit Seide umwickelt waren. Nach ihrem Zusammendrehen wurden sie dann nochmals mit einem Firniss überzogen, der sie vor schädlichen äußeren Einflüssen schützte.

Sömmerings Telegraph wurde im Jahre 1809 in Paris dem Kaiser Napoleon vorgelegt, der ihn aber mit den Worten ablehnte: *«c'est une idée germanique»*. Die Legung und Sicherung des Kabels soll er für unmöglich gehalten und deshalb dem Plane einer praktischen Einführung nicht zugestimmt haben. Es fehlte damals allerdings noch die Möglichkeit, mit demselben Apparat auch rückwärts zu telegraphieren, eine Verbesserung, die Sömmering erst 1811 einführte, auch den Wecker hat er erst in diesem Jahre zugefügt. Ebenso traf er damals die Änderung, dass er nur den negativen Pol zum Telegraphieren benutzte, den positiven Poldraht aber dauernd fixierte, da auf diese Weise das Telegraphieren rascher und sicherer von statten ging.

3. Gauß, Weber und Steinheil. Das Magnetometer als Telegraph.

Die Ablenkung eines Magneten ist auf zweierlei Weise zum Telegraphieren benutzt worden, entweder indem man einen schweren an einem Seidenfaden oder dünnem Messingdraht hängenden Magnetstab durch einen ihn in einer Drahtspirale umkreisenden Strom ganz wenig ablenkte und die Ablenkung mit Spiegel und Fernrohr beobachtete, oder indem man die Ablenkung der Galvanometernadel benutzte.

Den ersten Weg schlugen Gauß (1777—1855) und Weber im Jahre 1833 ein, da ihnen das von dem ersten konstruierte Magnetometer zur Verfügung stand. Solche Magnetometer waren auf eine Anregung Alexander von Humboldts hin an verschiedenen Orten Deutschlands aufgestellt, um die Konstanten des Erdmagnetismus zu erhalten. Die älteste Form des Magnetometers zeigt Fig. 402. Der Magnetstab, der links sichtbar ist, ist nur zur Hälfte gezeichnet. Er trägt an seinem dem Fernrohr *F* zugewandten Stirnende einen Spiegel *a*, der genau senkrecht zu ihm gestellt werden kann. Unterhalb des Fernrohres, dem Spiegel gegenüber, ist die Skala *SS* so aufgestellt, dass ihr Spiegelbild im Fernrohr erscheint. Diese Art der Ablesung, die Poggendorff kurz vorher angegeben hatte und die auch jetzt noch sehr häufig angewendet wird, ermöglicht bekanntlich Abweichungen des Magneten aus seiner Ruhelage, wenn sie auch nur wenige

Sekunden betragen, zu messen. Bei soleher Empfindlichkeit musste jede Störung durch Luftströmungen ausgeschlossen werden; deshalb schloss Gauß den Apparat in ein Holzgehäuse ein, welches nur durch eine Öffnung

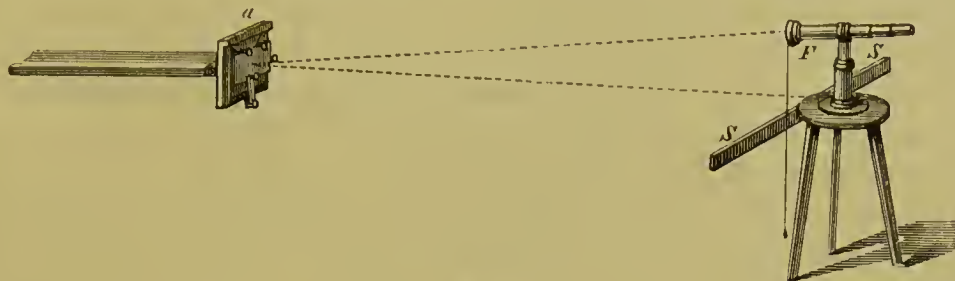


Fig. 402.

den Spiegel sehen ließ, und umgab die Pole überdies der besseren Dämpfung wegen mit Stücken dicker Kupferstäbe. Da es sich aber als Übelstand ergab, dass bei einer etwas stärkeren Schwankung des Magneten der Spiegel aus der Gesichtslinie des Fernrohres heraustrat, so befestigte Gauß

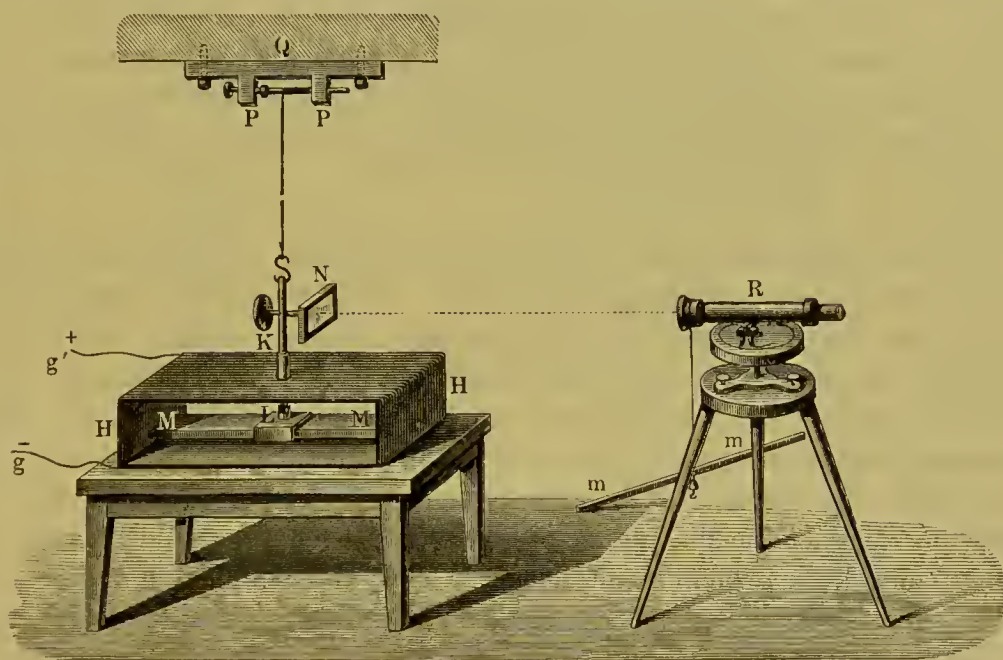


Fig. 403.

ihn später an einem Stab, der zwischen dem Magneten und dem Aufhängefaden oder -Draht, wie dies Fig. 403 zeigt, angebracht wurde, erreichte auch eine bessere Dämpfung, indem er den Magneten bifilar aufhängte.

Zum Zwecke der Beantwortung einiger sich bei diesen Messungen ergebender Fragen hatte Weber (1804—1891) zwei Drähte von dem physikalischen, $\frac{1}{4}$ Stunde von der Sternwarte entfernten Kabinet bis zur Stern-

warte über die Häuser der Stadt gezogen und diese ermöglichten eine telegraphische Verständigung, indem nun (Fig. 403, S. 409) der Magnet *MM* in eine genügend große, einen Rahmen bildende Drahtspirale gehängt wurde. »Professor Weber«, so schildert Gauß 1834 die behufs der telegraphischen Verständigung angestellten Versuche¹⁾, »hat bereits im vorigen Jahre von dem physikalischen Kabinett aus über die Häuser der Stadt hin bis zur Sternwarte eine doppelte Drahtverbindung geführt, welche gegenwärtig bis zum magnetischen Observatorium fortgesetzt ist. Dadurch bildet sie eine große galvanische Kette (Leitung), worin der galvanische Strom die an beiden Endpunkten befindlichen Multiplikatoren mitgerechnet, eine Drahtlänge von fast 9000 Fuß zu durchlaufen hat... Diese Anlage ist ganz dazu geeignet, zu einer Menge der interessantesten Versuche Gelegenheit zu geben. Man bemerkt nicht ohne Bewunderung, wie ein einziges Plattenpaar am anderen Ende hineingebracht, augenblicklich dem Magnetstabe eine Bewegung erteilt, die zu einem Ausschlage von weit über tausend Skalenteilen ansteigt... Die Leichtigkeit und Sicherheit, womit man durch den Kommutator die Richtung des Stromes und die davon abhängige Bewegung der Nadel beherrscht, hatte schon im vorigen Jahre Versuche einer Anwendung zu telegraphischen Signalisierungen veranlasst, die auch mit ganzen Wörtern und kleinen Phrasen auf das vollkommenste gelangen. Es leidet keinen Zweifel, dass es möglich sein würde, auf ähnliche Weise eine unmittelbare telegraphische Verbindung zwischen einer beträchtlichen Anzahl von Meilen voneinander entfernten Orten einzurichten«.

Als Stromquelle benutzten die Göttinger Gelehrten die Voltasche Säule, Thermostrome oder Induktionsströme, auch mit Hilfe von Reibungselektrizität konnte der Magnetstab in Schwingungen versetzt werden. Am zweckmäßigsten erwiesen sich die Induktionsströme. Eine mit Handgriffen versehene Drahtspule mit vielen Windungen konnte über einen etwa 25 Pfund schweren Magnetstab geschoben werden. Für gewöhnlich befand sie sich in der Mitte des Stabes. Hob man sie nun oder senkte sie ein wenig, so wurde der Magnet im Magnetometer ein wenig nach rechts oder links abgelenkt und diese Ablenkungen einzeln oder in Kombination zu zweien, dreien oder vierten ließen alle Buchstaben und Zahlzeichen telegraphieren. Als Wecker benutzten sie, wie Sömmering, eine Weckeruhr, deren Hemmung ausgelöst wurde, wenn der zu Anfang recht stark abgelenkte Magnetstab gegen einen Hebel stieß. So war der Apparat von Gauß und Weber der erste elektromagnetische Telegraph und zugleich derjenige, der zu wirklicher telegraphischer Verständigung benutzt worden ist, und der in der Technik verwendete Telegraph ist somit eine Erfindung von Gauß und Weber.

1) Gauß, Göttinger gelehrte Anzeigen. 1834. S. 1272. Poggendorffs Annalen. 1834. Bd. 32. S. 568. Schumacher, Astronomisches Jahrbuch. 1836. S. 34.

Indem er aber zunächst nicht für eine derartigen Gebrauch konstruiert war, bot er für solchen Zweck manche Unbequemlichkeit. Dass diese indessen würden gehoben werden können, erkannte Gauß sehr wohl. Er forderte deshalb einen damals bei ihm seiner Studien wegen sich aufhaltenden jungen Münchener C. A. von Steinheil (1801—1870) auf, die nötigen Änderungen anzubringen, da ihm selbst die Zeit hierzu fehlte, und hätte in der Auswahl dieses Gehilfen nicht glücklicher sein können. Unterzog sich doch Steinheil der ihm gewordenen Aufgabe mit ebensoviel Geschick und Eifer, wie mit Glück, und es lag nur an den für die Förderung solcher Arbeiten überaus ungünstigen politischen Verhältnissen Deutschlands, dass nicht Steinheils Telegraph, sondern von Engländern eingeführte Apparate zuerst auch in unserem Vaterlande zu allgemeiner Verwendung kamen.

Fig. 404 zeigt seinen Apparat im Anfriss, Fig. 405, S. 412, im Grundriss, wie er bereits 1836 von ihm angegeben wurde¹⁾. Ein aus 17 hufeisenförmigen

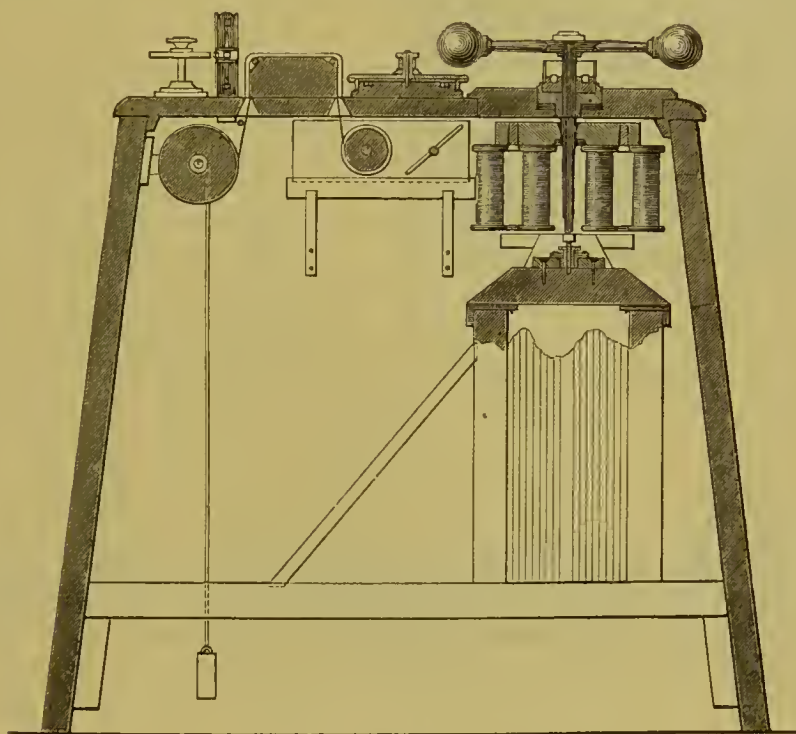


Fig. 404.

Stahlmagneten gebildetes magnetisches Magazin dient zur Hervorbringung der Induktionsströme. Ein zwischen seinen Polshuhen befindliches Messingstück trägt das Lager einer Achse, welche durch zwei Schwingkugeln in plötzliche rasche Bewegung gesetzt werden kann. Dadurch nähern sich

1) C. A. Steinheil, Über Telegraphie, insbesondere durch galvanische Kräfte. Eine öffentliche Vorlesung gehalten in der Kön. Bayr. Akademie der Wissenschaften am 25. August 1838. München 1838.

die mit ihr in Verbindung stehenden Induktionsrollen mit weichen Eisenkernen den Magneten des Magazins oder entfernen sich von ihnen und so werden in ihnen Ströme erregt, deren

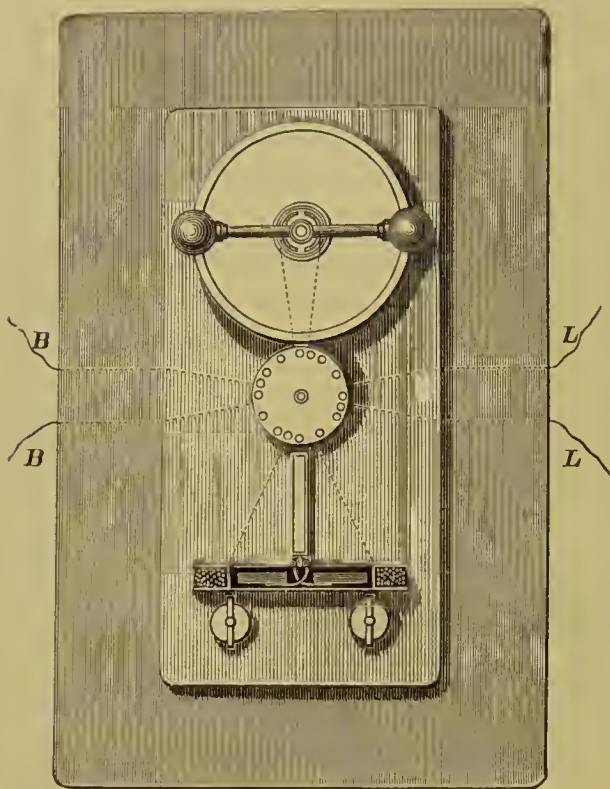


Fig. 405.

Richtung je nach der Drehungsrichtung der Achse mit den Induktionsrollen verschieden ist. Die Enden der Drähte der Induktionsrollen gehen isoliert unter die Schwingkugeln und endigen dort in den nach unten hakenförmig gebogenen Stahl-drähten, die über der in Fig. 406 dargestellten Quecksilberrinne sich bewegen. Doch befinden sie sich in solchem Abstände von der Achse, dass sie nur in den Einschnitten *a* und *b* der isolierenden Holzbrücke *cd* mit dem Quecksilber in Berührung kommen können, und sind so angebracht, dass dann die entwickelten Induktionsströme auf dem Maximum ihrer Stärke sich befinden; in jeder anderen Lage sind sie isoliert.

Damit nun aber für den Fall, dass der Induktor nicht in Thätigkeit ist, ein Strom von der einen Quecksilberrinne zur anderen gelangen kann, so ist an der Induktorachse unterhalb der Schwingkugeln ein isolierter Kupferring angebracht, welcher ebenfalls zwei nach unten gebogene Stahl-drähte trägt, die aber mit den eben erwähnten einen Winkelabstand von 90° bilden. Tauchen also diese bei *a* und *b* ein, so befinden sich jene über *c* und *d* und sind somit isoliert. Giebt aber der Induktor keinen Strom, so setzen sie die Quecksilberrinnen in leitende Verbindung.

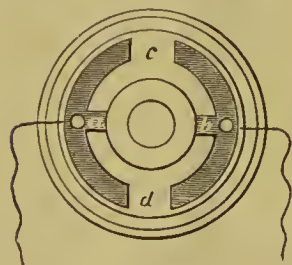


Fig. 406.

Den Empfänger zeigt Fig. 407 von der Seite des Telegraphisches her, Fig. 408 in seiner Mitte durchschnitten von oben; Fig. 408 giebt somit dasselbe Bild von ihm, wie Fig. 405, nur vergrößert. Er besteht aus dem Multiplikator-draht *MM*, der um einen rechteckigen Messing-rahmen gewunden ist und aus zwei um je eine in ihrem Mittelpunkt befindliche Achse drehbaren Stabmagneten *NS*, *NS*, deren Pole gleichgerichtet sind. Je zwei an dem Messingrahmen befestigte Hemmungen verhindern, dass der an ihm liegende Pol sich nach außen bewegen kann. Die mitt-

leren Pole tragen an gebogenen Eisenarmen Messinggefäße, welche unten ein kleines schnabelförmiges Röhrechen mit ganz enger Öffnung haben.

»Wenn Ölfarbe in die Gefäße kommt«, so schildert Steinheil¹⁾ die Wirkungsweise des Zeichengebers, »zieht sie sich vermöge der Kapillarattraktion durch die Bohrung der Schnäbel und bildet an ihren Öffnungen,

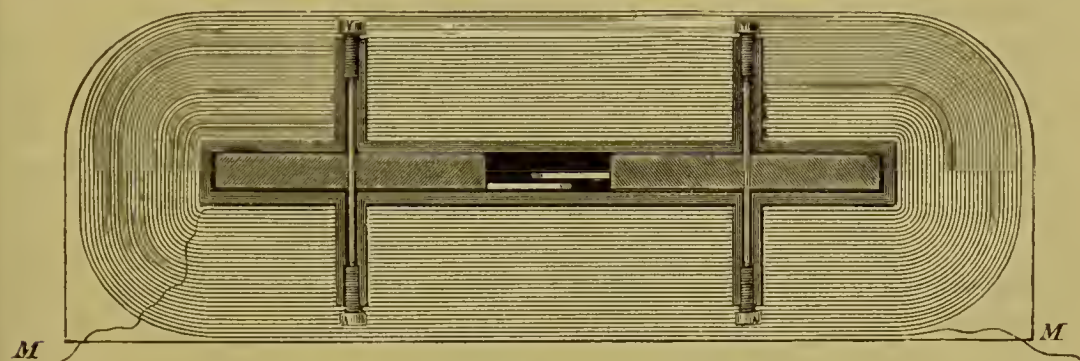


Fig. 407.

ohne auszufließen, halbkugelförmige Erhöhungen. Die leiseste Berührung reicht also hin, einen schwarzen Punkt zu fixieren. Wird der Multiplikator Draht dieses Zeichengebers galvanisch erregt, so streben beide Magnetstäbchen sich in demselben Sinne um ihre Vertikalachse zu drehen. Es würde also eines der Farbgefäßchen aus dem Multiplikatorrahmen hervortreten, das andere in diesen hineingehen. Um letzteres zu vermeiden, sieht man in dem Spielraum zur Schwingung der Magnetstäbe zwei Platten einander gegenüber befestigt (Fig. 408), gegen welche die anderen Enden



Fig. 408.

der Magnetstäbe andrücken. Es kann also immer nur eines der Gefäße aus dem Multiplikator heraustreten, während das andere in Ruhe bleibt. Um die Magnetstäbchen nach vollbrachter Ablenkung rasch wieder in die ursprüngliche Lage zurückzubringen, dienen gesonderte kleine Magnete, deren Abstand und Lage so reguliert wird, bis dieser Zweck erreicht ist. Diese Stellung muss durch Versuche ermittelt werden, weil sie bedingt ist von der Intensität des erregten Stromes«.

1) Steinheil, a. a. O. S. 27.

»Sollte dieser Apparat dienen, um durch Anschlagen an Glocken zweierlei leicht zu unterscheidende hörbare Töne zu geben, so wird man Uhr-glocken oder auch Glasglocken zu wählen haben, die leicht ansprechen und etwa um die Sexte im Tone verschieden sind... Sollen die Zeichen-geber schreiben, so muss sich eine Papierfläche vor den Schnäbeln derselben mit gleichförmiger Geschwindigkeit vorüberbewegen. Am schicklichsten wählt man dazu sehr lange Streifen des sogenannten endlosen Maschinenpapieres, welches man auf ein Holz aufwindet und auf der Drehbank in schmale Streifen absticht. Ein solcher Papierstreifen muss sich von einem Cylinder abwickeln, an den Gefäßchen vorübergehen, dann eine Strecke horizontal fortgeführt sein, um die aufgetragenen Punkte sichtbar zu machen und endlich wieder auf einen zweiten Cylinder aufwinden. Dieser zweite Cylinder wird von einem Uhrwerk gedreht, die Regulierung der Bewegung geschieht durch ein Fugalpendel. Diese ganze Einrichtung ist aus Fig. 404, S. 411, im Längensehnitt, in Fig. 405, S. 412, aber von oben ersichtlich.«

Steinheil ist demnach der Erfinder des Farbschreibers; seine Elementarzeichen waren der Punkt links und der Punkt rechts, aus denen er das Alphabet zusammensetzte und dabei den Vorteil hatte, für jeden Buchstaben ein leicht einzuprägendes Bild zu erhalten. Er stellte nun Versuche im großen an zwischen drei Stationen, Münchener Akademie,

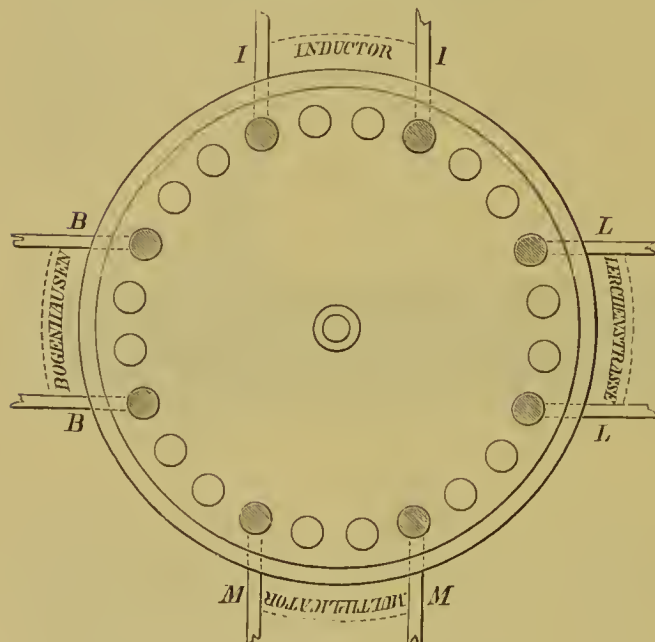


Fig. 409.

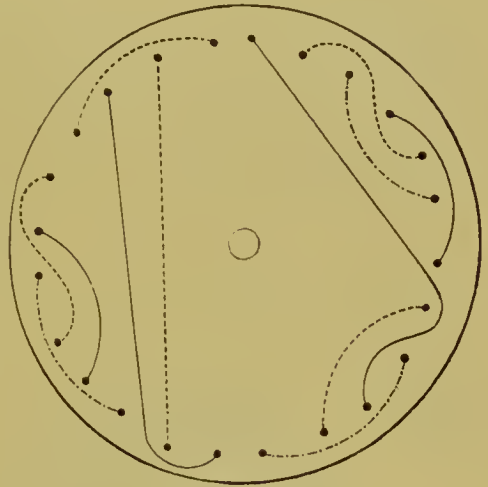
Sternwarte in Bogenhausen und einer Straße Münchens, wobei ein Leitungsdraht von mehr als 10 Kilometer zur Hin- und Rückleitung verwendet wurde. Die Art, wie er die dazu nötigen Schaltungen erreichte, beschreibt¹⁾ er folgendermaßen:

»Die Drahtleitung von Bogenhausen, die von der Lerchenstraße (jetzt Schwanthalerstraße), die Enden des Zeichengebers und zwei Leitungen aus den Quecksilbergefaßen des Induktors, also eigentlich die Enden seines Multipli-

kators, kommen in der Mitte des Tisches, wie Fig. 405, S. 412, zeigt, zusammen. Hier führen sie in acht mit Quecksilber gefüllte Löcher, die in einem

1) Steinheil, a. a. O. S. 29.

Holzcyylinder angebracht sind (Fig. 409). Von der Verbindung dieser acht Enden untereinander hängt es nun ab, wohin der erregte Strom geleitet wird. Wären z. B. diese acht Löcher durch vier Klammern von Kupferdraht verbunden, wie es Fig. 409 zeigt, so ginge der erregte Strom durch sämtliche Apparate und Ketten. Eine Verbindung, wie in Fig. 410 aber würde die Kette von Bogenhausen ausschließen und also bewirken, dass der Strom vom Induktor aus durch den Multiplikator und die Lerchenstraße ginge. Eben diese Figur um 180° gedreht, bewirkte das Ausschließen der Lerchenstraße und führte den Strom nach Bogenhausen. Ein drittes System von Verbindungen ist durch die Kupferklammern von Fig. 411 gegeben. In der Lage der Zeichnung wären der Induktor und Multiplikator verbunden, dagegen die Lerchenstraße und Bogenhausen ausgesperrt. Diese Fig. 411 aber um 90° Grade gedreht, verbande Bogenhausen und die Lerchenstraße, so dass diese beiden Stationen miteinander kommunizieren können, ohne dass man auf der Akademie die Nachricht empfängt. Diese dreierlei Systeme und Verbindungen sind nun in einem hölzernen Deckel mit Kupferdraht eingetragen, Fig. 410. Aus diesem stehen also 24 Drahtenden hervor. Es sollen aber immer nur acht davon wirksam sein, deshalb werden in den Cylinder, der die Quecksilbergefaße enthält, noch sechzehn Löcher angebracht, in denen kein Quecksilber ist und die bestimmt sind zur Aufnahme derjenigen Drahtenden, die gerade nicht in Wirksamkeit sein sollen. So entsteht die Möglichkeit, den Strom in jeder Richtung zu leiten, und es sind die betreffenden Verbindungen auf der Außenseite des Deckels, Fig. 410, der die verschiedenen Verbindungssysteme enthält durch beigeschriebene Buchstaben bezeichnet. Durch Versetzung dieses Deckels gegen den auf dem Tische befindlichen Pfeil kann also über die Richtung des Stromes beliebig disponiert werden. Natürlich ließen sich statt Quecksilbernäpfchen auch hier konisch gebohrte Kupferstifte anbringen, was auch auf den Stationen Bogenhausen und Lerchenstraße geschehen ist*. Auch die Quecksilberinne, Fig. 406, S. 412, ersetzte Steinheil später durch Kupferringe mit Schleiffedern.



Die Leitungsdrähte wurden in der Stadt an Türmen, und auf den Strecken, wo sich keine Häuser befanden, an 40 bis 50 Fuß hohen Fichtenstämmen mittels Querhölzern befestigt. Sie wurden auf Filzuunter-

lagen, die um diese Hölzer gelegt waren, aufgewickelt. Die Stämme trugen die Hin- und Rückleitung; denn dass die letztere entbehrlich sei, daran konnte man damals noch nicht denken. Als man dann aber daran ging, die Telegraphendrähte längs der Eisenbahnen zu ziehen, lag es nahe, die Schienen wenigstens als Rückleitung zu benutzen. Das hatten Gauß und Weber bereits vorgeschlagen, als ihr Telegraph bei der Leipzig-Dresdener Eisenbahn zur Ausführung gelangen sollte, man hatte aber davon absehen müssen, da man so nicht im stande war, die Zuleitungen zu isolieren. Doch nahm Steinheil diesen Gedanken auf und prüfte seine Durchführbarkeit mit Versuchen, die er an den Schienen der Nürnberg-Fürther Bahn anstellte. Dabei beobachtete er eines Tages, dass der Strom von einem Schienenstrange zu dem anderen durch die Erde hindurchging und machte so die überaus wichtige Entdeckung, dass man die Erde als Rückleitung benutzen könne, die dazu noch einen viel kleineren Widerstand lieferte wie die Drahtleitung. Er benutzte dieses sogleich mit gutem Erfolge bei seinem Telegraphen, indem er den Draht, in den Induktor und Empfänger eingeschaltet waren, an Kupferbleche von 61 Quadratfuß Oberfläche befestigte und diese in die Erde versenkte.

4. Schilling von Canstadt, Cooke und Wheatstone, und der Nadeltelegraph.

Die Art des Telegraphen, welche Gauß und Weber ihre Entstehung, Steinheil ihre Weiterentwicklung verdankte, kam über diese nicht weiter hinaus. Zwar wurden einzelne seiner Merkmale, der eine Draht, die Stromrückleitung durch die Erde und die Farbennäpfchen, der Umschalter später weiter verwendet, der Apparat selbst kam bald in Vergessenheit. Dagegen traten andere Bestrebungen auf, die die Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom benutzten, eine Wirkung, die sich wegen ihrer Einfachheit zum telegraphieren ganz besonders zu eignen schien. Zwar konnte Ampères Idee, ebensowenig wie die Sömmerings, der 25 Drähte wegen, welche er anwendete, um ebensoviel Nadeln ausschlagen zu lassen und so die einzelnen Buchstaben zu bezeichnen, keine Anwendung in der Technik finden, um so weniger, als sie an Durchbildung hinter der Sömmerings zurückblieb, aber der Weg, auf dem diesem Übelstande abzuhelfen war, war ja gewiesen, es war Schilling von Canstadt (1786—1837), der ihn betrat, und im Jahre 1835 der Naturforscherversammlung in Bonn einen Telegraphen vorlegte, welcher sich recht wohl zu allgemeiner Einführung geeignet hätte, bei dem geringen Verständnis aber, welches die damalige Zeit diesen Fragen noch entgegenbrachte, eben nur als interessante Neuigkeit aufgenommen, dann aber wieder bei Seite gelegt wurde.

Schilling hatte, als er als russischer Gesandtschaftssekretär sich längere Zeit in München aufhielt, viel mit Sömmering verkehrt und dessen

Versuche mit Interesse verfolgt. Er nahm, als er nach Petersburg zurückkehrte, einen unter Sömmerings Leitung gefertigten Telegraphen mit, beschäftigte sich aber selbständig und mit bestem Erfolge mit ähnlichen Versuchen. So gelang es ihm, mittels eines durch die Newa gelegten isolierten Drahtes auf dem gegenüber liegenden Ufer des Flusses eine Mine zu entzünden, es gelang ihm ferner, einen in allen Einzelheiten wohl ausgebildeten Telegraphen herzustellen.

Fig. 412 stellt seinen Empfänger im Durchschnitte und im Grundrisse dar¹⁾. Er ist nichts anderes, wie ein Multiplikator mit astatischem Nadelpaare, das zur Dämpfung seiner Schwingungen unten in ein Gefäß mit Flüssigkeit tauchendes Scheibchen trägt. An dem Aufhängefaden der

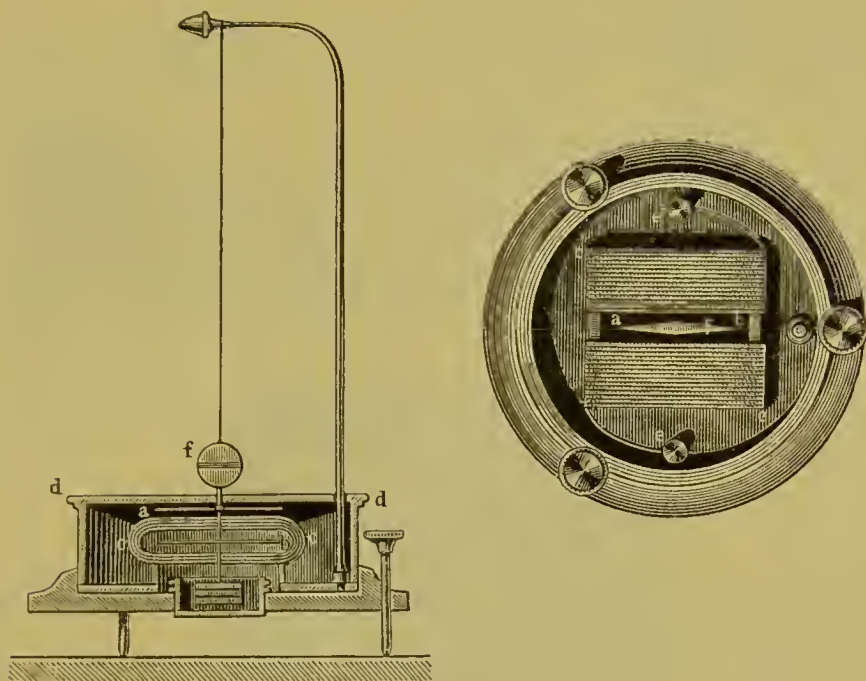


Fig. 412.

Nadel wird das Papierstück *f* befestigt und durch Reibung festgehalten, welches auf der einen Seite mit einem horizontalen, auf der anderen mit einem vertikalen Strich versehen ist. Der Beobachtende stellt es sich so, dass er gegen seine scharfe Kante sieht und bei Ablenkungen der Nadel in verschiedenem Sinne einen der beiden Striche erblickt. Doch wollte Schilling sie nicht als Elementarzeichen benutzen, vielmehr sollten bei der zwischen Kronstadt und Peterhof geplanten Ausführung im großen, die leider durch seinen Tod vereitelt wurde, fünf Nadeln aufgestellt werden, welche auf

¹⁾ Hamel, Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de St. Petersburg 1860. Tome 2. S. 102. Muncke, Gehlers physikalisches Wörterbuch. Bd. 9. S. 112 ff. Gerland in Hofmanns Bericht u. s. w. S. 111 ff.

beiden Seiten der Papierscheibchen die Ziffern von 0 bis 9 trugen. Diese sollten nach dem dekadischen Systeme zusammengestellt und aus ihnen die Wörter gebildet werden. Ein unter dem Ende *b* der unteren Nadel befindliches Stifchen verhinderte sie zu weit anzuschlagen.

Den Wecker zeigt Fig. 413 in der Vorder- und Seitenansicht und im Grundrisse. Auch er besteht aus einem Multiplikator *a* und dem astatischen Nadelpaare *b, c*, dessen Achse ein mit Gewichtchen *d* und *e* an beiden Enden beschwerten Metallstäbchen trägt. Wird die Nadel durch den Strom abgelenkt, so schlägt das Gewicht gegen den mittels des Stellschraubchens *l* fast labil aufgestellten Stab *k/h*, wirft ihn um und dadurch

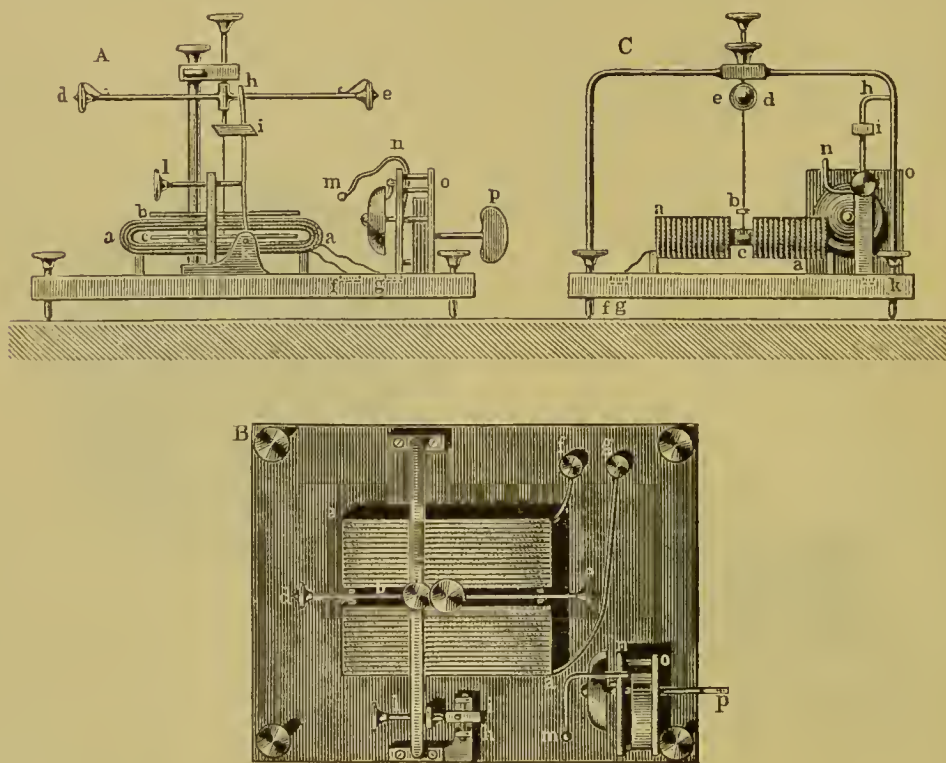


Fig. 413.

das an ihm befestigte Gewichtchen *i* auf den Ausrückhebel der Weckeruhr, die so zum Tönen gebracht wird und den dienstthnenden Beamten herbeiruft. Fig. 414 stellt sodann die Batterie, Fig. 415 einen Stromsender dar. Jene besteht aus einer Kupferplatte *w* und einer Zinkplatte *v*, zwischen denen ein mit verdünnter Schwefelsäure getränkter Tuchlappen eingeklemmt ist; die beiden Stützen *z* pressen die Platten, die in Nuten des Brettes *xy* stehen, gegen ihn. Durch Drähte stehen die Platten mit zwei Quecksilbernäpfchen in Verbindung, die durch die Drähte des Stromsenders an zwei andere angeschlossen werden können, in die wiederum die Leitungsdrähte tauchen. Zwei Sender stehen zur Verfügung, der eine abgebildete mit diagonalen Drähten, die die Stifte *t* und *s*, *r* und *u* verbinden,

und ein anderer, bei dem r und s , t und u in Verbindung gesetzt worden sind. Je nachdem man den einen oder anderen von ihnen nimmt, kann

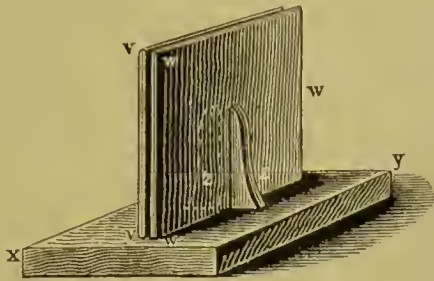


Fig. 414.

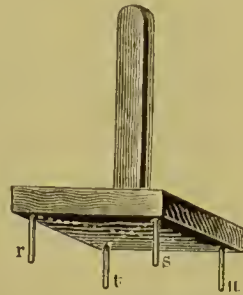


Fig. 415.

der Strom in der einen oder anderen Richtung um den Empfänger geschickt werden.

Auch der Schillingsche Telegraph wäre, wie der Steinheilsche, bald der Vergessenheit anheim gefallen, wenn nicht der Professor Muncke aus Heidelberg, der ihn in Bonn gesehen hatte, sich von Albert in Frankfurt ein allerdings nur rohes Modell von ihm hätte herstellen lassen und es alljährlich in seinem Kolleg vorgezeigt hätte. Dort sah es zufällig ein junger Engländer, Cooke, der sich in Heidelberg behufs Anfertigung von anatomischen Wachspräparaten aufhielt, und erkannte sofort die ungeheuren Bedeutung, die der kleine Apparat gewinnen konnte. Er ließ sich theils in Heidelberg, theils in Frankfurt einen Telegraphen mit drei Nadeln und Wecker bauen und brachte ihn 1836 nach London. Fig. 416 und

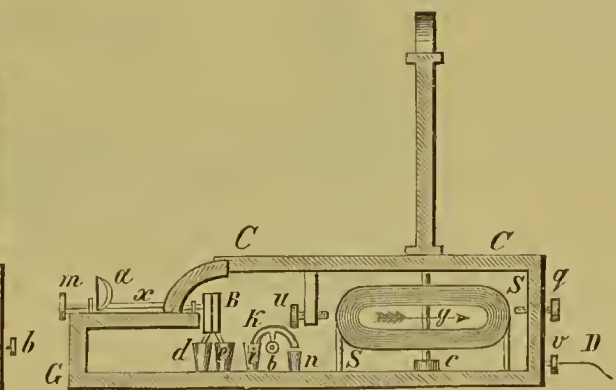
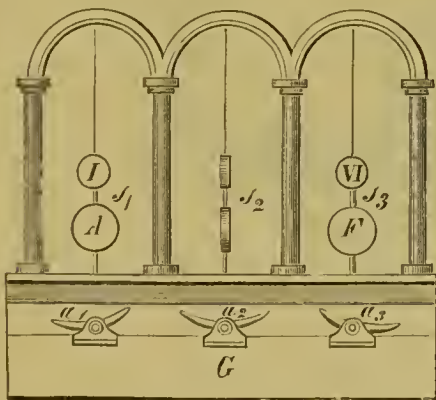


Fig. 416.

Fig. 417, S. 420, zeigen seinen Telegraphenapparat im Anfrisse, Durchschnitte und Grundrisse. Man sieht, es ist der Apparat von Schilling mit einigen Veränderungen, die sich namentlich auf die Schaltung erstrecken.

Noch nicht zufrieden mit den Wirkungen seines Apparates verband sich Cooke behufs seiner Vervollkommnung mit dem Professor am Kings College, Wheatstone (1802—75), und schon am 12. Juli 1837 konnten beide

ein Patent auf mehrere neue Telegraphenapparate nehmen, die, nach demselben Plane gebaut, sich nur durch die Anzahl der Nadeln unterschieden, von denen der eine vier, der andere fünf besaß.

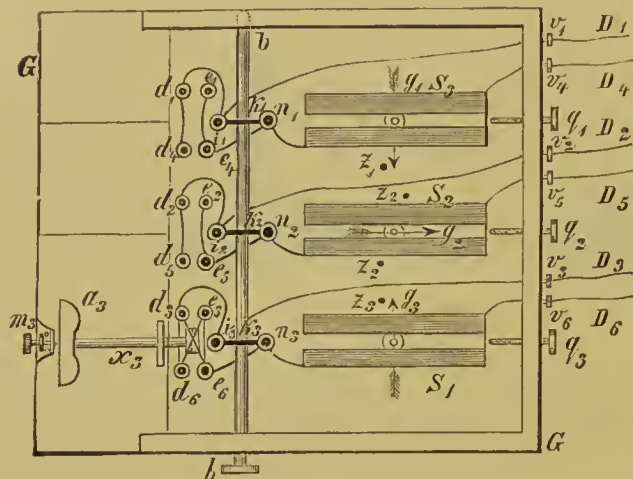


Fig. 417.

Fig. 418 ersichtlich. *M* ist die Spule, welche, wenn sie ein Strom durchfließt, die Nadel *ab* ablenkt. Diese trägt am einen Ende eine Kugel, am anderen eine kleine Gabel. So lange in *M* kein Strom vorhanden, steht die Nadel horizontal, die Enden der Gabel *a* befinden sich über zwei Quecksilbernäpfchen. In diese tauchen sie ein, sobald die Stromwirkung das Ende *a* der Nadel herabdrückt und schließen dadurch den Strom der Batterie *B*.

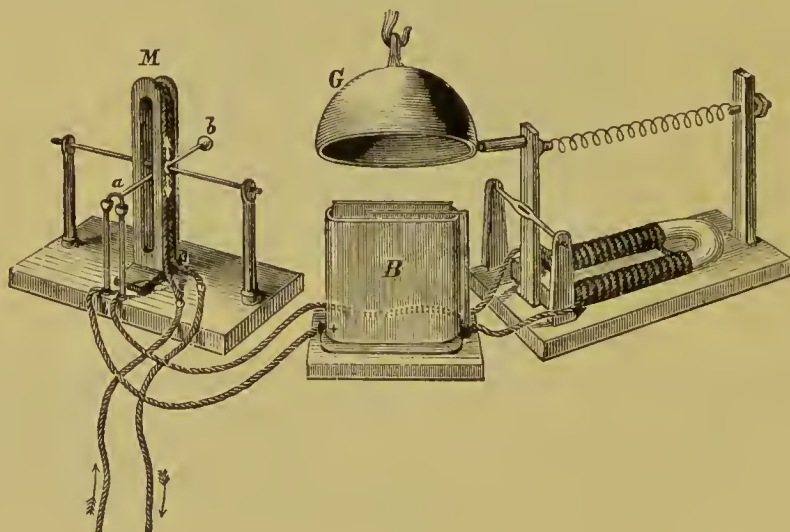


Fig. 418.

Dadurch wird der rechts sichtbare horizontale Elektromagnet erregt, welcher, indem er seinen Anker anzieht, das andere Ende des den letzteren tragenden Hebels gegen eine Glocke stößt. Wird dann der Strom von *B*

1) Zetzsche, Geschichte der elektrischen Telegraphie. Berlin 1877. S. 98.

wieder unterbrochen, so zieht die Spiralfeder das obere Ende des Hebels wieder zurück.

Der Fünfnadeltelegraph besaß fünf Multiplikatoren im Inneren eines Kastens, dessen rantenförmiger Deckel als Zifferblatt mit zwanzig Buchstaben und zehn Ziffern beschrieben war. Es fehlten von den Buchstaben des Alphabets die im Englischen auch durch andere zu ersetzenden *C*, *J*, *Q*, *U* und *X*. Die Multiplikatoren enthielten astatische Nadeln, auf deren Achsen weitere außen sichtbare von möglichst geringem Gewichte befestigt waren. Jede dieser Nadeln war an ihrer unteren Hälfte etwas überlastet und ging so, wenn sie abgelenkt gewesen war, sogleich wieder in ihre aufrechte Lage zurück. Hemmstifte verhinderten sie, zu weit auszuschlagen. Die Zahl der Leitungsdrähte betrug sechs, fünf, die die Zuleitung für die einzelnen Multiplikatoren bildeten, der sechste die gemeinschaftliche Rückleitung. Die telegraphische Übermittlung eines Buchstabens geschah in der Weise, dass immer zwei Nadeln zugleich, aber in entgegengesetztem Sinne, zur Ablenkung gebracht wurden. Der telegraphierte Buchstabe befand sich dann im Durchschnittspunkte der beiden Zeigerrichtungen. Um eine Zahl zu telegraphieren, wurde nur eine Nadel abgelenkt, ihr Zeiger wies dann auf die am Rande des Zifferblattes befindliche Ziffer. Die Leitungsdrähte wurden in einem eisernen Rohre in die Erde verlegt.

Der Fünfnadeltelegraph wurde als erster in England auf der 39 Meilen langen Strecke der Bahn zwischen London und Bristol eingeführt und erwies sich als völlig betriebsfähig. Doch waren seine Herstellungskosten zu hoch. Cooke und Wheatstone suchten ihn deshalb durch den Ein-nadeltelegraphen zu ersetzen, bei dem nach Gauß' und Webers Vorgang die Ablenkungen der Nadel in dem einen oder anderen Sinne als Elementarzeichen dienten. Bedurften sie zu seiner Bethätigung auch nur eines Leitungsdrahtes, so ging das Telegraphieren doch viel zu langsam, als dass man nicht nach weiteren Verbesserungen gesucht hätte. Solche fanden Cooke und Wheatstone im Zweinadeltelegraphen, bei dem die Bilder, welche die gleichzeitig abgelenkten Nadeln gaben, den einzelnen Buchstaben und Zahlen entsprachen.

5. Morse. Zeiger- und Schreibtelegraph.

Dem Nadeltelegraphen haftete die Unvollkommenheit an, dass der zu telegraphierende Buchstabe nicht direkt bezeichnet oder das ihn gebende Bild fixiert wurde, so dass der Erscheinungen Flucht es oft zu rasch verwischte, ein einmal gemachter Fehler in der Auffassung nicht verbessert werden konnte. Dem ersteren Übelstande suchte der Zeigertelegraph, dem letzteren der Schreibtelegraph abzuhelpen.

Einen Zeigertelegraph hatte bereits 1836 Cooke herzustellen versucht, war aber an der Unmöglichkeit gescheitert, zwei Scheiben in gleichmäßiger

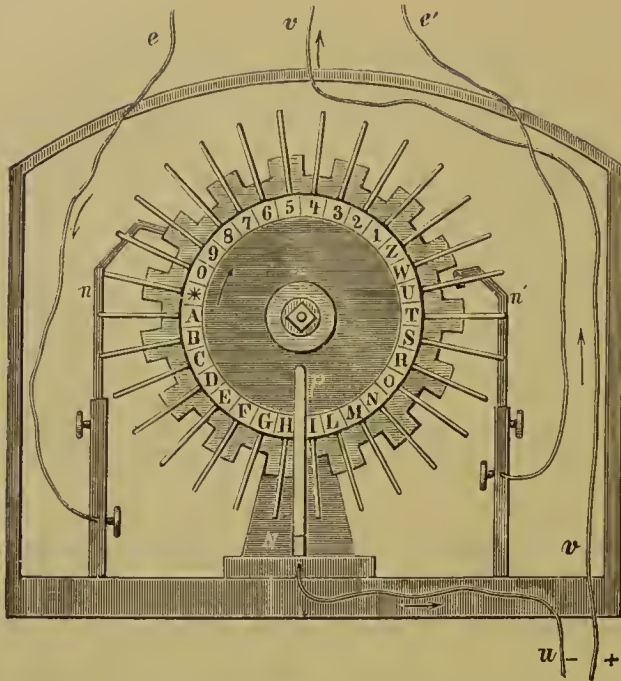


Fig. 419.

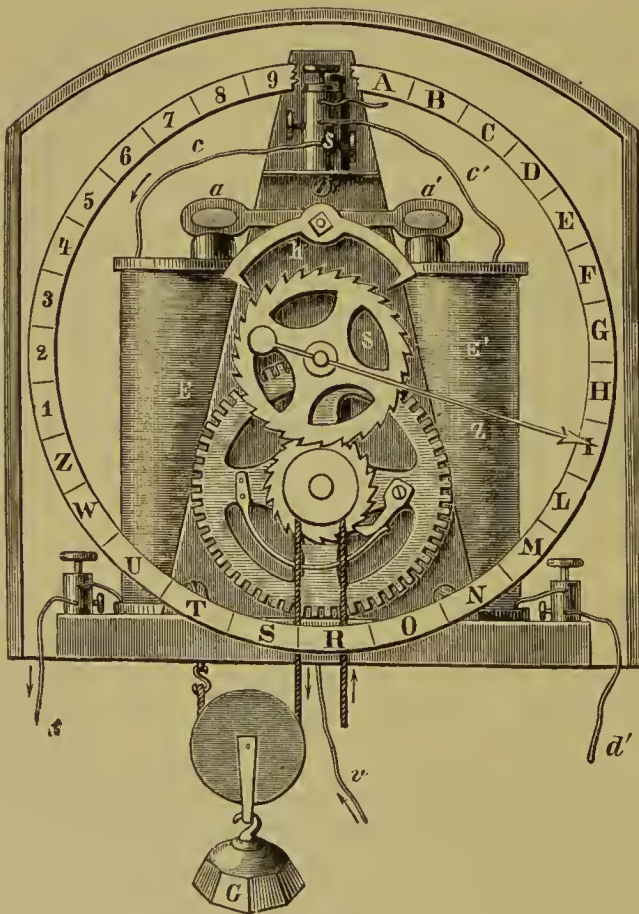


Fig. 420.

Drehung zu erhalten. Erst der 1839 von Wheatstone erfundene erwies sich als betriebsfähig. Er unterschied sich von den Nadeltelegraphen dadurch, dass bei ihm nicht die Ablenkung der Nadel durch den Strom, sondern ein Elektromagnet benutzt wurde, den man beliebig magnetisch und wieder unmagnetisch machen konnte, und kam hierin mit dem Schreibtelegraphen überein.

Wheatstones Zeiger-telegraph zeigen die Figuren 419 und 420, jene den Geber, diese den Empfänger. Der Geber besteht aus einer um eine horizontale Achse mittels Handhaben drehbaren Metallseheibe *P*, welche am Rande mit 15 Zähnen versehen ist und an ihrer vorderen Fläche die dreißig zu telegraphierenden Buchstaben und Zahlzeichen trägt. Durch den bei *P* an ihr mit seharfer Reibung anliegenden Messingstab *P N* und den Leitungsdraht *u* steht die Seheibe mit dem negativen Pole einer Batterie in Verbindung, deren positiver Draht *vv* zum Empfänger geht. Zu diesem gehen noch die beiden weiteren Drähte *e* und *e'*, die von den mit verschiebbaren Kontakthaken *n* und *n'* versehenen Ständern ausgehen. Die Haken werden so gestellt, dass, wenn der eine

gerade auf einem Zahne aufliegt, der andere sich in einer Lücke befindet. Durch jenen ist dann der Stromkreis der Batterie geschlossen.

Ganz anders ist der Empfänger eingerichtet. Er besitzt zwei Elektromagnete E und E' , deren Anker aa' auf seiner Achse die Hemmung h trägt, welche in das Steigrad S eingreift und es für gewöhnlich hindert, dem Zuge des Gewichtes G folgend, den auf seiner Achse sitzenden Zeiger vor dem dieselben Zeichen, wie sie das Rad P des Gebers aufweist, tragenden Ring herumzuführen. Der von der Batterie kommende positive Draht vv ist zu der Klemmschraube s geleitet, wohin auch die bei d und d' eintretenden Drähte e und e' gehen, nachdem sie die Elektromagnete E und E' durchlaufen haben. Die Wirkungsweise des Apparates ist nun die, dass durch die Kontakthaken der Strom abwechselnd um E und um E' geschickt wird und so abwechselnd die Enden a und a' angezogen werden. Jedem Wechsel der Stellung entspricht aber ein Hindurehgehen der Hemmung durch die Lage, in der ein Zahn von S vorbeigleiten kann. So oft also ein Zahn an n vorübergeht, wird der Strom über E geschlossen, sodann, während die Lücke folgt, also Kontakt bei n' eintritt, über E' . Jeder dieser Stromschlüsse bewirkt also ein Fortrücken des Zeigers Z um einen Buchstaben. Um den Telegraphen zu benutzen, hat man nur den Stern zwischen A und O beim Geber auf PN zu stellen und den Zeiger des Empfängers auf O zu rücken, also ihm eine senkrecht nach oben zeigende Lage zu geben, um sicher zu sein, dass jedesmal, wenn man einen Buchstaben auf den Stab P des Gebers gestellt hat, der Zeiger des Empfängers auf denselben Buchstaben zeigt.

Wheatstone hat später den Zeigertelegraphen noch sehr vervollkommenet und er ist vielfach, auch an deutschen Bahnen, in Benutzung gewesen. Jetzt ist er wohl überall von dem Schreibtelegraphen verdrängt, der ihn an Einfachheit, Sicherheit der Wirkung und darin übertrifft, dass er die Depesche selbst aufzeichnet.

Der Erfinder des Schreibtelegraphen ist der amerikanische Maler Morse (1791—1872). Auf einer Kunstreise in Europa hatte er 1832 von den dortigen Bestrebungen zur Herstellung eines Telegraphen Kunde erhalten und benutzte nun die Rückfahrt nach Amerika zu Versuchen, das Problem auch auf seine Weise zu lösen. Seine ersten Versuche lieferten kein genügendes Ergebnis, aber mit seltener Beharrlichkeit verfolgte er sein Ziel, und der von ihm erfundene Telegraph ist jetzt der weitaus verbreitetste. Er war, wie Fig. 421, S. 424, zeigt, aus einer Malerstaffelei hergestellt. In der Mitte ihrer mittleren Querstange lag horizontal ein Elektromagnet E , welchen die Batterie B bethätigte. Der Anker des Elektromagneten war an dem an der obersten Querstange der Staffelei aufgehängten Pendel FF' befestigt, und der Schreibstift G , welchen das Pendel trug, beschrieb, so lange es in Ruhe war, eine gerade Linie auf dem Papierstreifen P , welcher durch die Rolle N gegen den Stift gedrückt und von der Rolle H dadurch abgewickelt wurde, dass die Rolle L , über welche es gezogen

war, von dem vom Gewichte Q getriebenen Uhrwerke W in Bewegung gesetzt wurde. Wurde nun der Elektromagnet erregt, so zog er das Pendel gegen sich hin und der Schreibstift zog, wenn er erregt blieb, eine Linie auf den Papierstreifen, welche der früheren zwar parallel, aber gegen sie

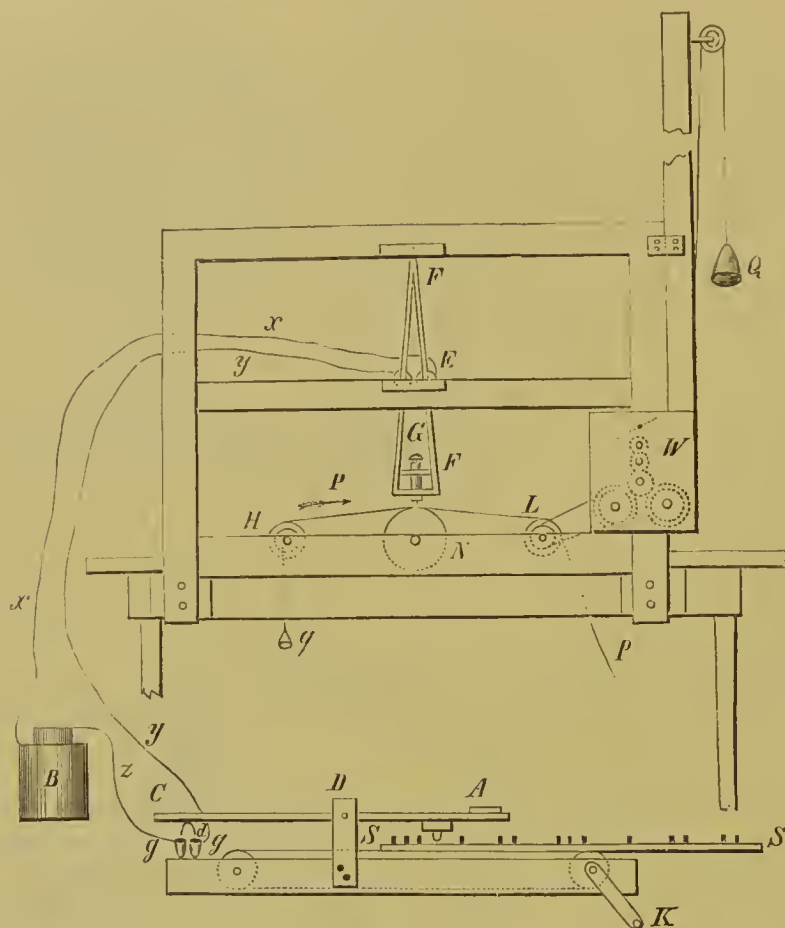


Fig. 421.

um einen kleinen Abstand verschoben war. Wurde nun der Strom abwechselnd unterbrochen und wieder geschlossen, so beschrieb der Stift Linien wie die, welche in Fig. 422 gezeichnet sind. Dauerte der Stromschluss nur einen Augenblick, so erhielt man eine Spitze, dauerte er länger,



Fig. 422.

so wurde die Spitze in eine Gerade ausgezogen. So konnte man Figuren erhalten wie die dargestellten, und eine jede solche entsprach einem Buchstaben. Die die fünf ersten Buchstaben des Alphabets gebenden zeigt die Figur. Den Stromschluss stellte nun Morse mit Hilfe des in D gelagerten Hebels AC , Fig. 421, her, an dessen einem Ende ein Ω -förmiger Draht

d befestigt war, welcher beim Eintauchen in die Quecksilbernäpfchen *gg* den Strom schloss, den Elektromagnet erregte. Um Depeschen zu geben, wurden auf den Stab *SS* Ansätze angebracht, welche den unterhalb *AD* befindlichen Stift hoben und, wenn der Stab mittels der Kurbel *K*, die ein ihm tragendes, um zwei Rollen gespanntes Band ohne Ende in Bewegung setzte, verschoben wurde, in den gewünschten Zwischenräumen den Strom schlossen und wieder unterbrachen.

Der Apparat zeigt bereits, allerdings in noch wenig verarbeiteter Form, die Teile des Schreibapparates, wie er jetzt überall im Gebranche ist. Durch unansgesetztes Weiterarbeiten gelangte aber Morse auch bereits zu dieser, und Fig. 423 zeigt den Telegraph, welcher 1843 auf der Bahn zwischen Washington und Baltimore zur Verwendung kam¹⁾. Bei ihm steht der Elektromagnet *HH* senkrecht auf seiner Grundplatte *AB*. Sein

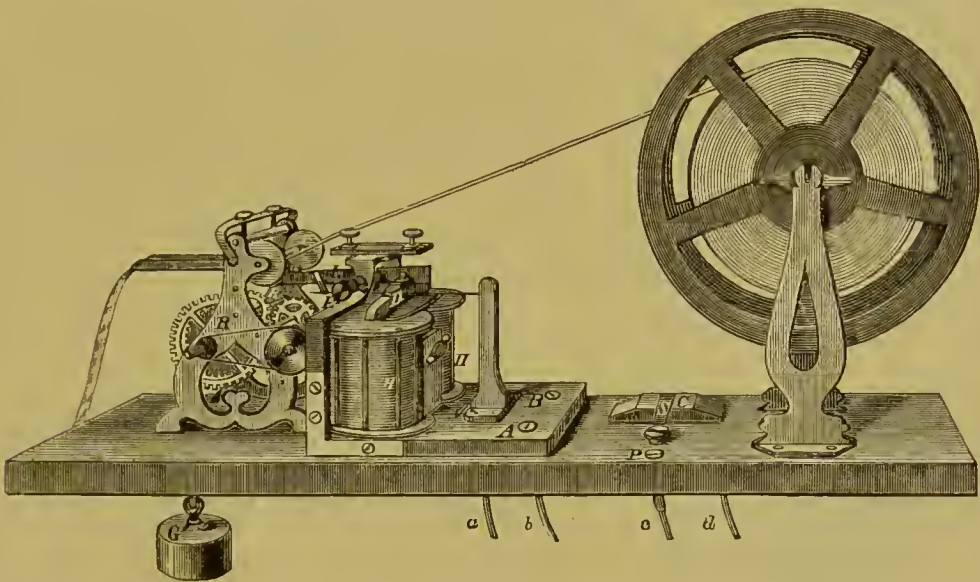


Fig. 423.

Anker bildet das eine Ende des um die Achse *E* drehbaren, am anderen Ende mit einem Stahlstifte versehenen Hebels, welcher Stahlstift durch Erregung des Magneten gegen den Papierstreifen gedrückt wird und hier die beiden Elementarstreifen, Striche oder Punkte, einpresst. Den längeren oder kürzeren Stromschluss aber bewirkte der einfach gestaltete Schlüssel oder Taster *PS*.

¹⁾ Zetzsche, a. a. O. Fig. 50. S. 135.

Daniell und das erste konstante Element.

Mit der Vervollkommnung der Telegraphenapparate ging das Bedürfnis nach konstanten galvanischen Elementen Hand in Hand. Um solche zu erhalten, musste die Polarisierung vermieden werden. Der erste, der dies durch Anwendung zweier, mittels einer porösen Thonzelle geschiedenen Elementenkammern zu erreichen suchte, war Becquerel, der zu diesem Behufe 1836 seine Sauerstoffkette zusammenstellte. Er erreichte aber damit nicht den gewünschten Erfolg und so war die Kette, die in demselben Jahre Daniell ins Leben rief, die erste, welche einen wirklich konstanten Strom lieferte ¹⁾. Die ursprüngliche Form seines Elementes ist aus Fig. 424 ersichtlich, die es im Durchschnitte darstellt. Das äußere



Fig. 424.

Gefäß war ein mit Kupfervitriollösung gefüllter Kupfereylinder, das innere aus einer Ochsen-gurgel gebildete enthielt verdünnte Schwefelsäure, in welche ein Zinkstab tauchte. Das Kupfergefäß hatte unten eine kreisrunde Öffnung, in welche ein Kork passte, durch den ein Heberrohr hindurchgesteckt war. Da die Ochsen-gurgel über den Kork gezogen war, so stand der Heber mit dem inneren Raume in Verbindung und konnte dazu dienen, die auf dessen Boden sich begebende Zinkvitriollösung abznziehen. Die Verbindungen mit den Drähten geschah noch durch Quecksilbernäpfchen, die bequemen Klemmschrauben führte erst 1840 Poggendorff ein. Die Heber einer Anzahl Elemente ließ Daniell in ein gemeinschaftliches Gefäß münden.

Er wollte dreierlei mit seiner Kette erreichen: 1. Die Zinkfläche möglichst klein zu machen; 2. das gebildete Zinkoxyd, das für die Wirkung der Batterie schädlich ist, entfernen; und 3. das am Kupfer frei werdende Wasserstoffgas ohne Fällung einer das Metall verschlechternden Substanz absorbieren.

Zur Erreichung des ersten Zweckes wurde die amalgamierte Zinkstange so klein genommen, dass ihre Oberfläche nicht mehr als 10 Quadratzoll hielt, während die Innenfläche des Kupfereylinders bis nahe 72 Quadratzoll betrug.

Um das gebildete Zinkoxyd (Zinksalz) zu entfernen, war über der inneren Kammer ein Trichter befestigt, aus welchem fortwährend frische

¹⁾ Daniell, Philosophical Transactions. 1836. S. 107. Poggendorffs Annalen. 1837. Bd. 42. S. 263.

Säure in abgepasster Menge zufließen, während die schwerere Lösung des Zinkoxydes in demselben Maße am Boden durch den Heber abfließt.

Um endlich das Wasserstoffgas zu absorbieren, wurde der Raum zwischen der Hautröhre und dem Cylinder mit einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd gefüllt.

Diese Batterie, richtig konstruiert, entwickelte durchaus kein Gas, weder am Zink, noch am Kupfer, weder vor noch nach der Schließung. Am Kupfer erschien kein Wasserstoff, sondern statt desselben ein schöner roter Überzug von reinem Kupfer, so dass die Fläche dieses Metalles fortwährend erneuert wurde. Sowie aber ein Voltameter in den Kreis eingeschlossen ward, zeigte sich darin eine sehr lebhaft Gasentwicklung. Sie war auch weit stetiger und andauernder, als bei gewöhnlichen Batterien, aber dennoch war eine allmähliche, wenn auch langsame Abnahme zu spüren, wahrscheinlich, weil infolge der Fällung des Kupfers die Kupfervitriollösung schwächer und weniger leitend wurde.

Dieser geringen Unvollkommenheit half Daniell leicht ab, indem er, wie Fig. 425 zeigt, am oberen Rande des Kupfercylinders ein ringförmiges kupfernes Gefäß mit durchlöcherter Boden anbrachte, dies mit gestoßenem Kupfervitriol füllte und die Flüssigkeit im Kupfercylinder so hoch hielt, dass sie durch den durchlöcherter Boden in das Gefäß hereintrat. Sobald nun durch die Thätigkeit des Elementes die Kupfervitriollösung verdünnter wurde, löste sich neues Salz auf und die Konzentration der Lösung blieb dieselbe. So erreichte Daniell, dass der Strom seiner Kette sechs Stunden lang seine Stärke unverändert beibehielt.

Diese Elemente sind auch jetzt noch im Gebrauche, mit ihnen schließen wir an die Gegenwart an. Somit hat unsere Betrachtung abzubringen.

Die übrigen Teile der Physik, die Mechanik, die Lehre von der Wärme und vom Lichte hatten wir nicht weiter wie bis zum Anfange des 19. Jahrhunderts verfolgen zu sollen geglaubt. Nicht als ob in diesem nicht ebenso riesenhafte Fortschritte gemacht worden wären wie in der Elektrizitätslehre, der experimentelle Apparat aber, den sie brauchten, war entweder nicht so, dass er neue, geschichtlich merkwürdige Apparate lieferte, oder es werden die angewendeten Apparate auch jetzt noch benutzt. Unsere Betrachtungen galten aber nur der Entwicklung der physikalischen Experimentierkunst, sie hatten zu schildern, wie man zu den Apparaten der Gegenwart gekommen ist, haben aber nicht auf diese und deren Leistungen einzugehen.

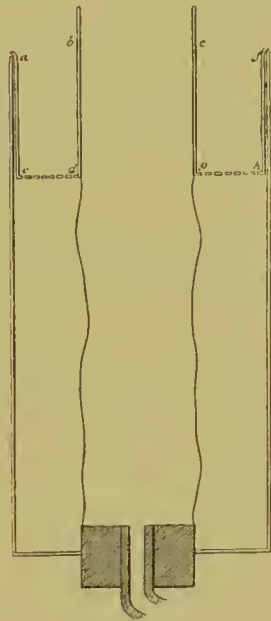


Fig. 425.

Sachregister.

- Aberration, chromatische 283.
Abstoßung, elektrische, ihre Messung 341.
Achromatic 328.
Aeolipile 40.
Akkumulator, erfunden von Leibniz 212.
Anemometer von Chr. Wolff 327, Leutmann 327, Lomonosow 327.
Aneroïd, Erste Idee bei Leibniz 239, 323. Ausgeführt von Zeiher 323, von Vidi 323.
Anziehung, elektrische 95.
Anziehungssphäre, magnetische 93.
Aräometer s. Gewichts- und Volumen-
aräometer.
Arbeitsübertragung 209.
Astatistische Nadel 378, 385.
Atmometer von Richmann 327.
Auftrieb 302.
Augengläser 77.
Ausdehnung durch die Wärme 171.
Ausdehnungskoeffizient bestimmt durch Lavoisier und Laplace 315.
Automaten, Landgraf Wilhelms IV. 190.

Ballistik 109.
Barlows Rad 383.
Barometer, Erfindung 153, Guerickes 143, 261.
Barometer, abgekürzte, Amontons' 241, Cassinis 242, Hookes 242, Derhams 243.
Barometer, Anskochen 321.
Barometer, leuchtende, entdeckt von Picard 321, erklärt von Du Fay 321.
Barometerleere, Luft darin 162.
Barometerprobe von Huygens 194.
Barometerstand bei Sturm, erklärt durch Amontons 242, Hawksbee 266, Desaguliers 266.

Baryllium 58.
Bathometer, de Cusas 83, der Royal Society 265, von Hales 265.
Becher der Vestalin 39.
Belegung der Verstärkungsflasche mit Zinnfolie durch Watson und Bevis 333.
Bernsteinkraft 95.
Bewegung, gewaltsame 18, natürliche 18, unvollkommene 19, vollkommene 19, widernatürliche 18.
Bierprobe 253.
Blasebalg, hessischer 219.
Blinder Fleck, entdeckt durch Mariotte 268.
Blitzableiter 343.
Boyles Gesetz, Prüfung durch Hooke 258. Selbständig gefunden durch Mariotte 267.
Brechung des Lichtes 76.
Brechungsgesetz 123.
Brennpunkt des Hohlspiegels 88, von Linsen 88.
Brillen 77.
Brontopoen instrumentum 334.
Bronze 7.
Buchdruckerkunst 84.

Camera obscura 87.
Canalwage 52.
Centrifugalmaschine Borellis 149. Guerickes 149, 's Gravesandes 300.
Centrifugalpumpe 217.
Centrifugalventilator 219.
Chemie bei den Ägyptern 8, den Arabern 61, bei Albrecht von Bollstädt 76, R. Baco 78.
Chemische Theorie des Galvanismus 360.

- Chorobates 52.
 Cycloidenpendel 182.
 Cylinderspiegel 35.

 Dampfkochtopf 224.
 Dampfkugel 40.
 Dampfmaschine, Niederdruck- 228,
 Hochdruck- 234, Saverys 231, ver-
 besserte Saverysche 294.
 Dampfwagen's Gravesandes 305.
 Deklination der Magnetonadel 84, 92,
 Bestimmung durch Sturm 270, Haute-
 feuille 270, Teuber 271.
 Deklinatorium von Brander 351.
 Destillation bei den Ägyptern 9.
 Diakaustische Fläche 86.
 Dichtigkeit der Luft 136.
 Digestor 224.
 Diopter Herons 11, 52.
 Dioptrik von Huygens 192.
 Dioptrische Untersuchungen 123.
 Doppler von Bennet 339, gebraucht von
 Cavallo 340, von Nicholson 340.
 Doubler von Bennet 339.
 Drehwage von Conlomb 342, 346, ver-
 bessert von Rieß 342.
 Duplikator von Bennet 339.

 Ebene, schiefe, Theorie Leonardo da
 Vincis 105, 109.
 Einnadeltelegraph 421.
 Electricitas vindex von Beccaria 336,
 dagegen Volta 336.
 Elektrizität im luftleeren Raume 162;
 Wesen nach Du Fay und Symmer 334,
 nach Franklin 334; Geschwindigkeit
 nach Le Monnier 335, Watson 335,
 Wheatstone 335; im luftleeren Raume
 untersucht von Cavendish 336, Erman
 336, Morgan 336; durch Reiben von
 Quecksilber an Glas im luftleeren
 Raume 313.
 Elektrische Versuche Guerickes 151,
 Grays 332, Du Fays und Symmers
 334.
 Elektrisiermaschine's Gravesandes
 305, 330, Hawksbees 330, Hausens 330,
 Boses 330, Desaguiliers' 331, Winklers
 331, Lanes 331, Plantas 332, Sigand
 de la Fonds 332, Ingenhousz' 332,
 Ramsdens 332, Le Roys 332, van
 Marums 332.

 Elektrometer von R. Kohlrausch 342,
 der Mannheimer meteorologischen Ge-
 sellschaft 352.
 Elektrophor Voltas 337.
 Elektroskop, Gilberts 337, Grays 337,
 Du Fays 337, von Waitz' 337, Cantons
 337, Henleys 337, Cavallos 338, Ben-
 nets 338, Behrens' 371.
 Element ohne Polarisation von Daniell
 426, von Becquerel 426.
 Erdstrom 384.
 Experimentum crucis 278.
 Extrastrom, entdeckt durch Faraday
 399.

 Fallgesetze 115, 258.
 Fallmaschine, Hookes und Huygens'
 256.
 Fallversuche Desaguiliers' 258.
 Farbenlehre 126, Newtons 274.
 Farbschreiber, Steinheils 414.
 Federuhr der Accademia del Cimento 171.
 Fernrohr 89, 115, ohne Röhre 187
 achromatisches 328.
 Fener, griechisches 82.
 Feuermaschine, Amontons' 240.
 Fenerspritze 45, mit Windkessel 213.
 Fenerteilchen 247.
 Fliehkraft 14.
 Florentiner Experiment 169.
 Flüssigkeitslinsen 260.
 Fünfnadeltelegraph 421.
 Fundamentalversuche Voltas 360.
 Funken, elektrischer 151.
 Funkenelektrometer von Lane 339.

 Galvanismus, chemische Theorie 360,
 Kontakttheorie 360.
 Galvanometer Poggendorffs 376,
 Schweiggers 377, Ampères 376, Nobilis
 385.
 Galvanoskop Cummings 384.
 Garnwage Ludlams 314.
 Geschwindigkeiten, virtuelle 109.
 Gewichtsariäometer Monconys 252,
 Sturms 253, Leupolds 253, Robervals
 253, Fahrenheits 253.
 Glasbereitung S.
 Glaselektrizität, Namen 333.
 Glathränen 193.
 Globusuhren 100.
 Gnomon 6, elektrischer, Richmanns 343.
 Groma 10.

- Haarhygrometer de Saussures 326,
 Gay Lussacs 326, Koppes 326.
 Hahn, doppeltdurchbohrter 199.
 Harzelektrizität, Namen 333.
 Hebel, zweiarmiger, Aristoteles' Theorie
 21, Leonardo da Vincis Theorie 103.
 Hebel, reeller 104, potentieller 104.
 Hebelgesetz 22, 26, 79.
 Heber der Ägypter 10, Herons 35, Reisels
 207, Papins 207.
 Hebezeug 55.
 Heliostat 's Gravesandes 307.
 Heronsball 46.
 Himmelsglobus des Archimedes 31.
 Hochdruckdampfmaschine 233.
 Hodometer Herons 52.
 Homocomerieren 15.
 Hydrostatik 111.
 Hygrometer de Cusas 83, 262, Albertis
 83, 262, Leonardo da Vincis 107, der
 Accademia del Cimento 169, Amontons'
 243, DeLucs 243, Hookes 262, Goulds
 262, Hales 263, Cunnings 263, Coniers'
 263, 324, Hautefeuilles 263, Teubers
 263, 264, Molyneux' 264, Desaguliers'
 264, Arderons 324, Fergusons 324,
 Inochodzows 324, Lamberts 324, De
 Lucs 324, De Saussures 326, Retzius'
 350, Buissarts 350.
 Hypsometer Fahrenheits 251.

 Induktion, Methode der 17, 113.
 Induktion, magnetelektrische 395.
 Inklination der Magnetsnadel 92.
 Isochronismus der Pendelschwingungen
 115.

 Kapillarität im luftleeren Raum 165,
 Versuch Hawksbees 296.
 Kapselkünste, Pappenheimsche 215,
 Reisels 217.
 Klemmschrauben eingeführt von Pog-
 gendorff 426.
 Klepsydras 5, 34.
 Kohlensäure, verflüssigt durch Thilorier
 393.
 Kompass, ägyptischer 41, magnetischer
 92.
 Kompensierende Magnete, Cummings
 385.
 Kondensator Voltas 337.
 Konflikt, elektrischer 374.
 Konisches Instrument Al Birunis 72.
 Kontakttheorie des Galvanismus 360.
 Krampffische 353.
 Kreisbewegung 20, 148.

 Ladungssäule Ritters 371.
 Längenbestimmung auf dem Meere
 182.
 Lederventile Papins 165, Sturms 203.
 Lehrbücher, 's Gravesandes 294, Des-
 aguliers' 294, P. van Musschenbroeks
 295.
 Leidner Flasche s. Verstärkungsflasche.
 Leinölthermometer Newtons 249.
 Libelle s. Röhrenlibelle.
 Licht, Lehre vom, von Huygens 192.
 Linsen, von Chr. u. Const. Huygens 184,
 von Tschirnhaus 189, Hartsoeker 189,
 Hevel 260.
 Linsen, hyperbolische von Cartesius 124,
 von Wren 261.
 Linsen, Schleifmethode von Jenkins 329.
 Lösung, Abkühlung dabei 289.
 Luftdruck, Versuche der Accademia del
 Cimento 155, Änderung mit der Höhe
 160.
 Luftelektrizität, entdeckt durch Le
 Monnier 343, untersucht durch Winkler
 344.
 Luftfeuchtigkeit 83, 243.
 Luft, Gewicht der, nach Jac. Ber-
 noulli 268, Aristoteles 268, Riccioli
 268.
 Luftkissen 239.
 Luftpumpe, Guericques 129, Boyles 132,
 Huygens' 193, Papins 198, 203, 204,
 Senguerds 200, de Volders 201,
 Hawksbees 203, 312, 's Gravesandes
 304, Smeatons 313, Nollats 313.
 Luftthermometer 116, Amontons' 244.
 Regnaults 246, Magnus 246.

 Maßflasche von Lane 339.
 Machina coelestis von Leibniz 190.
 Magdeburger Halbkugeln 132.
 Magdeburger Versuch 146.
 Magnete, natürliche 346, künstliche 346,
 von Knight 346.
 Magnetelektrische Maschine von
 Ampère 400, Pixii 400, Störmer 401.
 Faraday 401, Ritchie 401, Pohl 401.
 Saxton 403, Clarke 403, Dal Negro 403.
 Jacobi 405.
 Magnetische Beobachtungen 408.

- Magnetische Kraftlinien 128.
 Magnetische Versuche der Accademia del Cimento 176.
 Magnetrudel von Volekamer 270, von Zumbach von Koesfeld 271.
 Magnetrudel, Ablenkung durch den Strom 373.
 Marinebarometer Hookes 242, 244.
 Mariottesche Flasche 42.
 Maschine, atmosphärische 229.
 Maschine, kalorische 237.
 Maschine zum Schleifen von Linsen von Cartesius 125, Huygens 184, Hooke 186, Campani 186.
 Mesolabien 28.
 Messing 96.
 Messlatte von Mariotte 267.
 Messstange der Ägypter 10.
 Metalle, Bearbeitung bei den Ägyptern 7.
 Metallthermometer Musschenbroeks s. Pyrometer, von Fitzgerald 317, Zeiger 317, Lamont 317.
 Meteorologische Beobachtungen, befördert von Leibniz 349, Lambert 309, Kurfürst Karl Theodor 349, angestellt von Boeckmann 349 und Hemmer 350.
 Methode, induktive, zuerst angewendet von Sokrates 17.
 Mikrographie Hookes 258.
 Mikroskop, Entdeckung 115, von Hooke 258, Divini 272, Wilson 273, Hartsoeker 273, Gray 273, J. van Musschenbroek 274, Leutmann 274, katoptrisches von Baker und Scarlett 329.
 Mischung, Erwärmung dabei 289, Kontraktion 289.
 Moment 86.
 Monochord 13.
 Nebel im Rezipienten der Luftpumpe 139, 224, Erklärung durch Nollet 313.
 Nervenkonduktor Galvanis 355.
 Niederdruckdampfmaschine 228.
 Niveau s. Wasserwaage.
 Nullpunkt, absoluter 247.
 Objektiv, achromatisches von Dollond 329.
 Öfenkonstruktionen Papins 221.
 Ohms Gesetz, Prüfung desselben 390, bekannt gemacht durch Fechner 392, Pouillet 392, Poggendorff 392.
 Optics von Newton 275.
 Orbis virtutum 93.
 Orthoptik 62.
 Papier 8.
 Paradoxon, hydrostatisches 110, 300.
 Parallelogramm der Geschwindigkeiten 19.
 Parallelogramm der Kräfte 298.
 Pendel, Abhängigkeit der Schwingungszeit von der Amplitude 171, Isochronismus der Schwingungen 115.
 Pendelniveau von Butterfield 189, Huygens 190, Chapotot 190, Picard 190, La Hire 190, Couplet 190, Hartsoeker 190.
 Pendeluhr Galileis 121, ausgeführt durch Vinc. Galilei 170, von Huygens 178; Längenbestimmung auf dem Meere 183.
 Pila a raggi Nobilis 389.
 Pila a scatola Nobilis 389.
 Planetarium von Huygens 190.
 Planetenuhr s. Globusuhr.
 Pnigeus 49.
 Polarisation der Säule nach Gautherot 369, nach Ritter 370.
 Presse Papins 108.
 Principia Mathematica von Newton 274, 294.
 Prinzip, Archimedisches 28, 114, 303.
 Proportionalzirkel Burgis 101.
 Pulvermaschine 227.
 Pumpe, kontinuierliche, La Hires 314.
 Pumpenkolben von Gengenbach 213.
 Pyknometer Al Khâzinis 72, 255, Hombergs 255, Fahrenheits 255, Geißlers 255.
 Pyrometer Musschenbroeks 314, verbessert durch Ellicott 314, Jackson 315, Johnston 315.
 Quadrantenelektrometer 337.
 Quecksilber, Reibung am Glase 322.
 Quecksilber, Reinigung 78, 251, 321.
 Quecksilber als thermometrische Substanz, benutzt von Fahrenheit 251, de l'Isle 293, Miles 317, Deluc 317.
 Quecksilberluftpumpe 207.
 Quintessenz 19.
 Radbarometer 261.
 Räderuhr 80.

- Rammbür 45.
 Reaalsche Presse 111.
 Regenbogen 71, 76, Erklärung durch Newton 282.
 Regenmesser von Grischow 326, der meteorologischen Station in Mannheim 351.
 Reibkissen der Elektrisiermaschine von Winkler und Giessing 331, von Canton 331, von Higgins 332.
 Richtmagnete 385.
 Röhrenlibelle von Thevenot 189.
 Römische Wage 56.
 Rolle 11.
 Rotationsapparate, Elektromagnetische 383.
 Ruderräder 238.

 Saggi der Accademia del Cimento 153.
 Salzprobe 252.
 Schall, Geschwindigkeit 176, im luftleeren Raume 163.
 Scheibenelektrisiermaschine von Sigaud de la Fond 332, Planta 332, Ingenhousz 332, Ramsden 332, Le Roy 332, van Marum 332.
 Schiefe Ebene 78.
 Schießpulver, Erfindung 78.
 Schleudermaschine des Archimedes 27.
 Schnecke, Archimedische 30.
 Schnellwage 56.
 Schraube ohne Ende 27.
 Schreibtelegraph von Morse 423.
 Schwefelige Säure, wirkt antiseptisch 239.
 Schwerkraft, Ansicht Galileis und Newtons über ihr Wesen 275, Ansicht Bulfingers 313.
 Seebarometer von Amontons 241, von Hooke 242, 244.
 Sehpypamide 63.
 Sempervivum Guericques 146.
 Sicherheitsventil 225.
 Sieden, Untersuchungen Nollets 315.
 Siedepunkt, Konstante Temperatur 249.
 Sonnenmikroskop von Reyher 274.
 Spannkraft des Dampfes 225, 230.
 Spannungsreihe Voltas 359, Pfaffs 359.
 Spezifisches Gewicht vor Archimedes noch nicht bekannt 31, Zeit der Aufstellung des Begriffs 58, Bestimmung durch die Araber 72, durch Galilei 114, die Accademia del Cimento 159, Hawksbee 303, 's Gravesande 303.
 Spiegel zu Teleskopen von Mudge und Short 328.
 Spiegelablesung von Poggendorff 408.
 Spiegelsextant 329.
 Spiegelteleskop von Zucchi 285, Gregory 285, Newton 285, Cassegrain 286, Herschel 328, Halley 329, Smith 329, Short 329.
 Spionspiegel 35.
 Stora 10.
 Stoßgesetze 300.
 Stoßmaschine Archimedes' 27.
 Strich, einfacher zum Magnetisieren 346, doppelter 346.
 Ströme, elektrische, Wirkung aufeinander 378.
 Strom, elektrischer, Namen 377.

 Tafel, Franklinsche 336.
 Tassenkrone Voltas 363.
 Tassensäule Voltas 363.
 Taucher, Kartesianischer 128.
 Taucheranzug 310.
 Taucherglocke Halleys 309; Luftversorgung nach Triewald 311.
 Taucherschiff Drebbels 221, Papins 222, Rowes 308.
 Teilmaschine, Erfindung 248.
 Teilungen auf Glasröhren 160.
 Telegraph von Lesage 405, Ronalds 405, Chappe 406, Hooke 406, Sömmering 406, 416, Gauß und Weber 409, Steinheil 411, Ampère 416, Schilling von Canstadt 417, Cooke und Wheatstone 419, Morse 421.
 Temperatur, absolute 247.
 Terella 93.
 Thermometer, Erfindung 116, Boyles 136, Guericques 145, der Accademia del Cimento 166, Reys 126, Hookes 190, Amontons' 246, Fahrenheits 247, Hanows 249.
 Thermometer, feste Punkte, vorgeschlagen von Huygens 192, Fahrenheit 249, 307, Römer 249, Réaumur 289, Eckström 294.
 Thermometer, übereinstimmende 317, registrirende 318, Maximum- und Minimum- 318, Anskochen 320.
 Thermometrograph von Six 318.
 Thermosäule 389.

- Thermoströme 387.
 Tiefenmesser s. Bathometer.
 Tierische Elektrizität nach Beccaria 353, Galvani 354.
 Topf, Papinscher 224.
 Torricellischer Versuch 131, 143.
 Transversalen 99.
 Transversallinien 99.
 Trockensäule Ritters 371, Zambonis 372.
 Turmalin, elektrische Eigenschaften 335.
 Turm der Winde 53.
 Umdrehungspunkt des Hohlspiegels 88.
 Unruhe 183.
 Variation der Magnetnadel s. Deklination.
 Ventilator 219.
 Verstärkungsflasche von Kleist 333, Cunaeus 333, Winkler 334, Beschreibung Musschenbroeks und Nollets 333, Glas dazu 333.
 Viernadeltelegraph 420.
 Voltameter von Simon 368.
 Voltasche Säule 359, 361, von Ritter 362, Pohl 362, Haldane 363, Cruikshank 363, Wilkinson 363, Sturgeon 364, Children 364, Wollaston 364, Oersted 364.
 Volumenaräometer im Altertum 58, Boyles 254, Meyers 254.
 Vorlesungsversuche 294.
 Wältigung der Grubenwasser 210.
 Wärme, ihr Wesen nach Amontons 243, Baco 243, Newton 243.
 Wage der Ägypter 10, Al Khâzinîs 71, Beschreibung von Leutmann 304.
 Wagebarometer 243.
 Wage, elektrische von Ellicot 338, Galath 338, d'Arcy 338.
 Wasserdampf 230.
 Wassergebläse 207, Stirlings 314.
 Wasserhammer 138, 230.
 Wasserlinsen 284.
 Wasserluftpumpe 207.
 Wassermühle mit Zahnradbetrieb 55.
 Wasserorgel 45.
 Wasserriegel 216.
 Wasserschraube 30.
 Wasseruhr 5, 7, 34.
 Wasserwage Herons 52, Mariottes 267, Leupolds 268, Paricioux' 268.
 Wasserzersetzung durch den Strom, beobachtet von Paetz van Troostwyck 364, Deimann 364, Ash 364, A. v. Humboldt 364, Nicholson 365, Carlisle 365, Ritter 366, Davy 369.
 Wasserzersetzungsapparate von Ritter 366, Landriani 367.
 Wellenbewegung 107.
 Werkstätten, Nürnberger 96, Musschenbroeks 311, Leupolds 311, Pariser 311.
 Wettermännchen Guericques 143, 152.
 Widerstand der Körper gegen den leeren Raum 119.
 Windbüchse Lobsingers 206, Guericques 147, Papins 206.
 Winde, Turm der 53.
 Windfahne 53.
 Windstärkemesser der Royal Society 264, Bonguers 327.
 Winkelbarometer von Moreland 242, Rammazini 242.
 Winkelspiegel 87.
 Zeigertelegraph 421.
 Zeitzähler Galileis 120, der Accademia del Cimento 170.
 Zitteraal 353.
 Zitterwels 353.
 Zusammendrückbarkeit des Wassers 174.
 Zweinadeltelegraph 421.

Namenregister.

- Accademia del Cimento, Gründung 153, Barometer und Luftdruck 155, Spezifisches Gewicht 159, Abhängigkeit des Luftdruckes von der Höhe 160, Ausdehnung durch die Wärme 171, Unzusammendrückbarkeit des Wassers 174, leichte und schwere Körper 176, Magnetische Versuche 176, Geschwindigkeit des Schalles 176.
- Achard, Elektrische Abstoßung 341.
- Ägypter, Leistungen 6.
- Aepinus, Leuchtende Barometer 323, Elektrische Eigenschaften des Turmalins 335.
- Agricola, Kompass 92, Ventilator 220.
- Albert, Schillings Telegraph 419.
- Alberti, Hygrometer 53, 262.
- Al Birûnî, Konisches Instrument 72.
- Albrecht von Bollstedt, Sein Wirken 76.
- Alknin, Sein Wirken 75.
- Alexandriner, ältere 31, jüngere 53.
- Al Fârisî, Regenbogen 70.
- Al Hazen, Optische Arbeiten 62.
- Al Khâzinî, Wage 71, Spezifisches Gewicht 72, Pyknometer 72, Inhalt von Gefäßen in verschiedener Entfernung vom Erdmittelpunkt 73.
- L'Allemand, Reibung des Quecksilbers am Glas 322.
- Allen, Spiegelsextant 329.
- Al Schîrasî, Regenbogen 70.
- Amontons, Feuernmaschine 240, Seebarmeter 240, abgekürztes Barometer 241, tiefer Barometerstand bei Sturm 242, Hygrometer 243, Thermometer 244, Siedepunkt 246, Absoluter Nullpunkt 246, Wesen der Wärme 247.
- Ampère, Galvanometer 376, Oersteds Versuche 376, Elektrischer Strom 376, Astatische Nadel 378, Wirkungen von Strömen aufeinander 378, Rotationsapparate 383, Magnetelektrische Maschine 400.
- Anaxagoras, Homocomerieen 15.
- Anaximander, Urstoff 13, Fliehkraft 14, Astronomische Kenntnisse 14.
- Anaximenes, Urstoff 13.
- Andronikos aus Kyrrhos, Erbauer des »Turmes der Winde« 53.
- Antinori, Thermometer der Accademia del Cimento 168, Magnetoinduktion 396.
- Apianus, Seine Instrumente 97, Astronomieum Caesareum 100.
- Araber, 60.
- Arago, Oersteds Versuche 376, Anziehung von Eisen durch den Strom 377, Rotationsmagnetismus 397.
- Archimedes, Bedeutung 12, Werke 24, Hebelgesetz 26, Schranke ohne Ende 27, Maschinen 27, Arbeiten über Flüssigkeiten 28, Schnecke 30, Himmelsglobus 31, von Heron erwähnt 33.
- Archytas, Rolle 11, Maschinen 27.
- d'Arcy, Elektrische Wage 338.
- Aretin, Codex atlanticus da Vincis 102.
- Aristarch, Erdkräfte 150.
- Aristophanes, Brenngläser 17.
- Aristoteles, Geschichtliche Bedeutung 12, Induktive Methode 17, Werke 17, Rad des 21, Hebel 22, Wesen des Schalles und Lichtes 23, Kreisbewegung 148, Gewicht der Luft 268.
- Arderon, Hygrometer 324.
- Armati, Brillen 77.
- Ash, Galvanische Wasserzersetzung 364.
- Assyrer, Leistungen 4.
- Athenaeus, Über Kriegsmaschinen 34.
- Atomiker 15.
- Anersperg, Luftleeres Gefäß 141.
- Auzout, Fernrohr 187.

- Baarmann, Al Hazens Abhandlung über das Licht 67.
 Babylonier, Leistungen 4.
 Baco von Verulam, Induktion 113, Wärme 247.
 Bacon, Roger, Inhalt von Gefäßen in verschiedenen Abständen vom Erdmittelpunkt 73, Optische Arbeiten 76, Linsen 77, chemische Arbeiten 78.
 Baker, Katoptrisches Mikroskop 329.
 Balbus, Herons Schriften 33.
 Baldewein, Planetenuhr Wilhelms IV. 100.
 Banks, Brief von Volta an ihn 361.
 Bardi, Über Galilei 80.
 Barlows Rad 383.
 Beccaria, Franklinsche Tafel 336, Electricitas vindex 336, Tierische Elektrizität 353.
 Beck, Ventilator 221.
 Becquerel, Element 426.
 Behrens, Elektroskop 371.
 Beireis, Luftpumpe Guericques 147.
 Benedetti, Ballistisches Problem 109, Kreisbewegung 148.
 Bennet, Elektroskop 338, Doppler 339.
 von Bergen, Siedepunkt 250, Reinigen des Quecksilbers 321.
 Bergman, Elektrische Eigenschaften des Turmalins 335.
 Bernoulli, Jakob I., Taucherschiff 224, Gewicht der Luft 268.
 Bernoulli, Johann, Aneroid 239, Barometer 242.
 Berosus in Kos 5.
 Berthoud, Räderuhren 82.
 Bevis, Verstärkungsflasche 333.
 Biedersee, über Guericke 151.
 Bienewitz s. Apianus.
 Boekh, Babylonische Maße 5.
 Böckler, Feuerspritze mit Windkessel 214.
 Boeckmann, Meteorologische Beobachtungen 349.
 Boëthius, Schall und Luftwellen 75.
 Bohnenberger, Elektroskop 372.
 Bollstädt, s. Albrecht v. B.
 Borelli, Centrifugalmaschine 149.
 Borellus, Taucherschiff 223.
 Bose, Elektrisiermaschine 331.
 Bouguer, Windstärkemesser 327.
 Boulliau, Pendeluhr 181.
 Boyle, Luftpumpe 132, 155, Taucherschiff Drebbels 222, Volumenariometer 254.
 Brahe, Tycho, Planetensystem 57, 95, Beobachtungen 95, Instrumente 98, Transversalen 99.
 Brander, Deklinatorium 351.
 Brandes, Meteorologische Beobachtungen 353.
 Brustrop von Schört, Wasserriegel 217.
 Buch (Bucher), Planetenuhr Wilhelms IV. 100.
 von Buch, Leopold, Meteorologische Beobachtungen 353.
 Buissart, Hygrometer 350.
 Bulfinger, Schwerkraft 313.
 Bullmann, Uhrmacher 97.
 Burgi, Transversallinien 99, seine Instrumente 101.
 Burgkmeier, Brillen 97.
 Butterfield, Pendelniveau 189.
 Buttmann, Feuerspritze 48, Wasserorgel 45.
 Byzantiner, Leistungen 60, Originalwerke des Altertums 82.
 Cabot, Deklination 84.
 Campani, Linsen 177, 186, 189, Schleifmaschine 259, Mikroskop 272.
 Canstadt, s. Schilling.
 Canton, Reibkissen 331, Elektroskop 337, Magnetisieren mit doppeltem Strich 346.
 Cantor, Heron 32.
 Cardano, Magnetenadel 90, Kreisbewegung 148.
 Carlisle, galvanische Wasserzersetzung 365.
 Cartesius, Brechungsgesetz 123, hyperbolische Linsen 124, Farbenlehre 126, Magnetische Kraftlinien 128, Taucher 128.
 Carra de Vaux, Heron 32.
 Cassegrain, Spiegelteleskop 286.
 Cassini, Winkelbarometer 242.
 Cassiodor, Wissenschaft in den Klöstern 75.
 Castelli, Wage 114.
 Cavallo, Elektroskop 338, Doppler 340.
 Cavendish, Maximum und Minimumthermometer 318, Elektrizität im luftleeren Raum 336.
 Caverni, Nemorarius 78, Thermometer 117.
 Celsius, Thermometerskala 293.
 Cesarini, Panunce 88.

- Chaldäer, s. Babylonier.
 Chapotot, Pendelniveau 190.
 Chappe, optischer Telegraph 406.
 Children, Voltasche Säule 361.
 Cimento, s. Accademia.
 Clarke, magnetelektrische Maschine 403.
 Columbus, Veränderlichkeit der Deklination 84.
 Coniers, Hygrometer 263, 324.
 Cooke, Nadeltelegraph 419, Zeigertelegraph 421.
 Copernicus, Planetensystem 95.
 Coulomb, Reibung 106, Drehwage 342, 348.
 Couplet, Pendelniveau 190.
 Cruikshank, Voltasche Säule 363.
 Cumming, Galvanoskop 384.
 Cunaeus, Verstärkungsflasche 333.
 Cuning, Hygrometer 263.
 Cusa, Arbeiten 83, Hygrometer 83, 263, Bathometer 83.

 Dal Negro, Magnetelektrische Maschine 403.
 Daniell, Meteorologische Beobachtungen 353, Element 426.
 Dante, Göttliche Komödie 83.
 Daviso, Thermometer 166.
 Davy, Galvanische Wasserzersetzung 369.
 Deimann, Galvanische Wasserzersetzung 364.
 Delambre, Brechungskoeffizienten 76.
 De la Rive, A., Elektromagnetischer Rotationsapparat 383, Schwimmender Strom 381.
 De la Rive, G., Schwimmender Strom 384.
 Delaval, Elektrische Körper 334.
 Deleuil, Luftpumpe 205.
 De l'Isle, Thermometer 293.
 Del Monte, Einfache Maschinen 109.
 Deluc, Thermometer 317, leuchtende Barometer 323, Hygrometer 325, Elektroskop 372.
 Demokritos, Atomistik 15.
 Derham, Barometer 243.
 Desaguiliers, Dampfmaschine 321, Thermometer 249, Hygrometer 264, Barometerstand bei Sturm 266, Cours of experimental Philosophy 294, Elektrisiermaschine 331, Versuche über Elektrizität 333.
 Diels, über Heron 32.
 Diepel, Planetenuhr Wilhelms IV. 100.
 Divini, Optiker 177, Mikroskop 272.
 Dobzensky, Reinigen des Quecksilbers 251.
 Dollond, Achromatisches Fernrohr 328, achromatisches Objektiv 329.
 Dondi, Räderuhren 80.
 Drebbel, Thermometer 116, Taucherschiff 221.
 Dschâbir, s. Geber.
 Du Fay, Feuerspritze 215, leuchtende Barometer 321, Elektrische Versuche 332, Wesen der Elektrizität 334, Elektroskop 337.
 Eckström, Thermometer 294.
 Ehemann, Brillenmacher 97.
 Eleatische Philosophen, Urstoff 14.
 El Haitam, Arzt in Cordova 162.
 Ellicott, Pyrometer 314, elektrische Wage 338.
 Empedokles, Elemente 15.
 Erman, Elektrizität im luftleeren Raum 336, Galvanometer 376.
 Esmarch, Ablenkung der Magnethadel durch den Strom 373.
 Etzlaub, Mechaniker 97.
 Eudoxos, Maschinen 27.
 Eukleides, Geometrie 31.
 Euler, Achromasie 328.
 Fahrenheit, Thermometer 177, 247, 289, 317, Siedepunkt 249, Reinigen des Quecksilbers 251, Gewichtsäräometer 253, Pyknometer 255, Auskochen der Thermometer 320.
 Fannius, Rhemnius Palaemon, de Ponderibus et mensuris 58.
 Faraday, Elektroskope 339, Elektromagnetische Rotationsapparate 383, Experimentaluntersuchungen 392, Magnetelektrische Maschinen 400.
 Favinianus, s. Fannius.
 Favinus, s. Fannius.
 Faye, Kosmogonische Theorien 12.
 Fechner, Elektroskop 372, Ohmsches Gesetz 392.
 Ferdinand II., Grossherzog von Toskana, Arbeiten 153, Thermometer 166.
 Ferguson, Hygrometer 324.
 Ferrier, Linsen 124.
 Fitzgerald, Metallthermometer 317.
 Fludd, Thermometer 116.
 Fordyce, Gewichtsverminderung beim Schmelzen 316.

- Fortin, Registrierendes Thermometer 318.
 Fracastoro, Wirkung zweier Linsen 89.
 Franklin, Spaunkraft des Dampfes 225,
 Wesen der Elektrizität 334, Blitzab-
 leiter 343.
 Friedrich II., Kaiser, Räderuhr 80.
 Froissart, Uhr Philipps des Kühnen 80.
 Frontinus, Seine Leistungen 56.
- Galen, Spezifisches Gewicht 59.
 Galilei, G., Verwertung der Beobachtungen
 3, 74, Fallversuche 19, Rad des Aris-
 toteles 21, Öllampe 43, seine Arbeiten
 113, induktive Methode 113, dynami-
 sche Betrachtungen 113, spezifisches
 Gewicht 114, Archimedisches Prinzip
 114, Fallgesetze 115, Pendelschwing-
 ungen 115, 120, Thermometer 116,
 mechanische Untersuchungen 119, Zeit-
 zähler 120, Pendeluhr 178, Schwer-
 kraft 275.
 Galilei, V., Pendeluhr 121, 170.
 Galvani, Tierische Elektrizität 354, Ner-
 venkonduktor 355.
 Gassendi, Geschwindigkeit des Schalles
 176.
 Gauß, Magnetometer 408, Telegraph 410.
 Gautherot, Polarisation der Voltaschen
 Säule 371.
 Gay Lussac, Archimedisches Prinzip
 115, Antriebs 136, Haarhygrometer
 326.
 Geber, chemische Arbeiten 61.
 Geißler, Pyknometer 255, Reibung des
 Quecksilbers am Glase 322.
 Generini, Pendeluhr 182.
 Gengenbach, Pumpenkolben 213.
 Geoffroy d. j., Auflösungen und Mischun-
 gen 289.
 Giessing, Reibkissen 331.
 Gilbert, Magnetische und elektrische
 Untersuchungen 91, Elektroskop 337,
 Magnetisieren durch einfachen Strich
 346.
 Godfrey, Spiegelsextant 329.
 Golins, Brechungsgesetz 124.
 Gould, Hygrometer 262.
 Govi, Panunzio 88.
 Gralath, elektrische Wage 338.
 Grassi, Kreisbewegung 148.
 's Gravesande, Dampfmaschine 233, 294,
 Thermometer 247, Physices elementa
 294.
- Gray, Kathetometer 243, Mikroskop 273,
 elektrische Versuche 332, Elektroskop
 337.
 Gregory, Spiegelteleskop 285, 329.
 Gren, tierische Elektrizität 358.
 Griechen, Leistungen 11.
 Grimaldi, Farbe 276, Refraktion 278.
 Grischow, Regenmesser 326.
 Guericke, Luftpumpe 129, Wasserham-
 mer 138, Nebel im Rezipienten 139,
 224, Barometer 143, 261, Thermometer
 145, Windbüchse 147, Centrifugalma-
 schine 149, elektrische Versuche 149,
 330.
 Gutschoven, Linsen 184.
- Hadley, Spiegelsextant 329.
 Haldane, Voltasche Säule 363, magneti-
 sche Beobachtungen 408.
 Hales, Hygrometer 263.
 Halley, Tancherglocke 309, Spiegeltele-
 skop 327.
 Hartmann, Inklination 92.
 Hartsoeker, Linsen 189, 272, Pendel-
 niveau 190, Mikroskop 273, natür-
 liche Magnete 246.
 Hausen, Elektrisiermaschine 330.
 Hautefeuille, Hygrometer 263, Dekli-
 nation 270.
 Hautsch, Fenerspritze mit Windkessel 213.
 Hawksbee, Luftpumpe 203, 313, tiefer
 Barometerstand bei Sturm 266, Kapil-
 larität 294, spezifisches Gewicht 303,
 Elektrizität durch Reibung von Queck-
 silber an Glas 313, 322, Elektrisier-
 maschine 330.
 Hele s. Henlein.
 Hemmer, meteorologische Beobachtungen
 350.
 Henlein, Taschenuhren 97.
 Henley, Quadrantenelektrometer 337.
 Herakleitos, Urstoff 14.
 Heron, Mechaniker seiner Zeit 2, Diopter
 10, Lebensverhältnisse 32, Werke 33.
 Hevel, Linsen 260.
 Hiero, Archimedes' Maschinen 27, seine
 Krone 28.
 Higgins, Reibkissen 332.
 Hipparch, Chaldäische Astronomen 5.
 Hippokrates, Auge und Ohr 17.
 Hoefer, Destillation bei den Ägyptern 9.
 Homberg, Wasserdampf 230, Pyknometer
 255.

- Hooke, Boyles Luftpumpe 132, Maschine, um Linsen zu schleifen 186, 259, Thermometer 192, Seebarometer 242, 244, Fallmaschine 256, Mikrographie 258, Mikroskop 258, Boylesehes Gesetz 258, Radbarometer 261, Hygrometer 262, Linsen 272, optischer Telegraph 406.
 Hubin, Glasarbeiten 244.
 Hultsch, Archimedes' Himmelsglobus 31, Herons Lebenszeit 32, de ponderibus et mensuris 58.
 Humboldt, meteorologische Beobachtungen 353, tierische Elektrizität 357, Kontakttheorie 361, galvanische Wasserzersetzung 364, magnetische Beobachtungen 408.
 Huygens, Christiaan, Arbeiten 3, Planetarium 100, 190, Brechungsgesetz 124, Nebel im Rezipienten der Luftpumpe 139, 224, Verhältnis zu Papin und Leibniz 177, Pendeluhr 178, Längenbestimmung auf dem Meere 183, Unruhe 183, Pendelniveau 189, Barometer 190, Thermometer 192, Luftpumpe 193, Barometerprobe 194, Pulvermaschine 227, Fallmaschine 256.
 Huygens, Constantyn, Vater d. V., Brechungsgesetz 124.
 Huygens, Constantyn, Bruder d. V., Linsen 184.
 Hypatia, Aräometer 58.
 Jackson, Pyrometer 315.
 Jacobi, magnetelektrische Maschine 405.
 Janssen, Mikroskop 115.
 Jenkins, Schleifen von Linsen 329.
 Ingenhousz, Scheiben-Elektroisiermaschine 332.
 Inochodzow, Hygrometer 324.
 Johnston, Pyrometer 315.
 Kaestner, Sonnenmikroskop 274.
 Karl V., Räderuhr 82.
 Karl der Große, Förderer der Wissenschaften 75.
 Karl, Landgraf von Hessen, Pulvermaschine 227, Dampfmaschine 234, Vorlesungsapparate 294, natürliche Magnete 346.
 Karl Theodor, Kurfürst von der Pfalz, meteorologische Beobachtungen 349.
 Keiffer s. Kuppler.
 Keppler, Arbeiten 3, dioptrische Untersuchungen 123, seine Gesetze 98.
 Kiefler s. Kuppler.
 von Kleist, Verstärkungsflasche 333.
 Klingenstierna, Achromasie 328.
 Knight, Magnete 346, 396.
 Koesfeld s. Zumbach.
 Kohlrausch, R., Elektrometer 342.
 Koppe, Haarhygrometer 326.
 Korteweg, Brechungsgesetz 124.
 Krafft, registrierendes Thermometer 318.
 Ktesibius, Lebensverhältnisse 32, Apparat 34, Wasserorgel 51.
 Kuppler, Schwiegersohn Drebbels 115, 222.
 La Hire, Pendelniveau 190.
 La Hire d. j., Pumpe 314.
 Lambert, Amontons' Thermometer 246, Hygrometer 324, meteorologische Beobachtungen 349.
 Lamont, Metallthermometer 317.
 Landriani, Wasserzersetzungsapparat 368.
 Lane, elektrischer Apparat 331, Maßflasche 339.
 Laplace, Ausdehnungskoeffizient 315.
 Lavoisier, Ausdehnungskoeffizient 315.
 Layard, Linse in Niniveh 6.
 Leeuwenhoek, Mikroskop 272.
 Lehmann, Babylonische Elle 5.
 Leibniz, Arbeiten 3, Machina coelestis 100, 110, elektrischer Funken 151, Verhältnis zu Huygens und Papin 177, Wasserwältigung 210, Prinzip der Akkumulatoren 212, Spannkraft des Dampfes 231, Dampfmaschine 231, kalorische Maschine 237, Ruderräder 238, Luftkissen 239, Aneroid 239, 323, meteorologische Beobachtungen 349.
 Le Monnier, Geschwindigkeit der Elektrizität 336, Luftelektrizität 343.
 Leo Africanus, über Geber 61.
 Leonardo da Vinci, Arbeiten 101, Hebel 103, schiefe Ebene 105, Reibung 105, Maschinen 106, Wellenbewegung 107, Hygrometer 107.
 Leopold von Medici, Accademia del Cimento 153, Pendeluhr 181.
 Lepsius, Ägyptische Längenmaße 6.
 Le Roy, Elektroisiermaschine 332.
 Lesage, Telegraph 405.
 Leukippos, Atomistik 15.

- Lenpold, Luftpumpe 202, Feuerspritze mit Windkessel 215, Winkelbarometer 244, Werkstatt 311.
 Leurechon, mathematische Erquickstunden 118.
 Lentmann, Mikroskop 274, Wage 304, Anemometer 327.
 Lichaon, Diatonische Tonleiter 13.
 Lobsinger, Windbüchse 206.
 Lomonosow, Anemometer 327.
 Ludlam, Garnwage 314.
 Ludolff d. j., Leuchtende Barometer 322.
 Lullus, Reinigen des Quecksilbers 78.
 Lulofs, Musschenbroeks Introductio ad philosophiam naturalem 311.

 Magalotti, Saggi der Accademia del Cimento 153.
 Magnus, Luftthermometer 246.
 Mariotte, Mariottesche Flasche 42, Sieden 231, Boyles Gesetz 267, Niveau 267, Messlatte 267, Blinder Fleck 268.
 van Marum, Elektrisiermaschine 332.
 Martin, über Heron 32.
 Maurolycus, optische Arbeiten 84, Moment 86.
 Melloni, Thermosäule 389.
 Mersenne, Dichtigkeit der Luft 136, Reys Thermometer 166.
 Meyer, Volumenariometer 254.
 Michell, Magnetisieren durch doppelten Strich 346.
 Migliore, Armatis Grabschrift 77.
 Miles, Quecksilberthermometer 317.
 Molyneux, Hygrometer 264.
 Monconys, Wettermännchen Guericques 152, Florentiner Experiment 168, Feuerspritze mit Windkessel 214, Wasserriegel 216, Gewichtsariometer 253.
 Montgelas, Telegraph 406.
 Moray, Thermometer 192, Glastränen 193, Fallmaschine 256.
 Moreland, Winkelbarometer 242, Wagebarometer 243.
 Morgan, Elektrizität im luftleeren Raum 336.
 Moriani, Glasarbeiten 155.
 Morse, Schreibtelegraph 423.
 Mortimer, Pyrometer 315.
 Mudge, Spiegelteleskope 328.
 Muncke, Schillings Telegraph 419.

 van Musschenbroek, Jan, Luftpumpe 201, Vorlesungsapparate 294, Werkstätte 311.
 van Musschenbroek, Samuel, Luftpumpe 201.
 von Musschenbroek, Pieter, Saggi der Accademia del Cimento 154, Luft in der Barometerkammer 162, Lehrbücher 295, 311, Pyrometer 314, Verstärkungsflasche 333.
 Mydorge, Fernrohre 124.

 Napoleon I., Telegraph 406, 408.
 Nemorarius, dynamische Arbeiten 78, schiefe Ebene 78, Hebel 79, Moment 86.
 Neudörffer, Nürnberger Künstler 96.
 New Comen, Dampfmaschine 240.
 Newton, Arbeiten 3, Farbenlehre 128, 274, geschichtliche Stellung 178, Wärme 247, Siedepunkt 249, Schwerkraft 275, Experimentum crucis 278, Spiegelteleskop 286, Teleskopenspiegel 286, Elektrische Versuche 288, Spiegelsextant 329.
 Nicholson, Gewichtsariometer 254, galvanische Wasserzersetzung 365, Doppeler 340.
 Nobili, Galvanometer 385, Thermosäule 389, Magnetinduktion 396.
 Nollet, Luftpumpe 313, Nebel im Rezipienten 313, Schwerkraft 314, Sieden 315, Mikroskop 329, Verstärkungsflasche 333, Glas dazu 333, elektrische Versuche 334.
 Norman, Gewichtsänderung durch Magnetisieren 91, Inklination 92.
 Nozzolini, Brief Galileis an ihn 115.

 Oersted, Voltasche Säule 364, Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom 373, elektrischer Konflikt 374.
 Ohm, Prüfung seines Gesetzes 393.

 Paetz van Troostwyck, galvanische Wasserzersetzung 364.
 Palaemon s. Fannius.
 Panunce, Camera obscura 88.
 Pape, Wassergebläse 207.
 Papin, Lederventile 165, Verhältnis zu Huygens und Leibniz 177, Luftpumpe 196, 198, doppelt durchbohrter Hahn 199, Heber 207, Presse 207, Arbeits-

- übertragung 209, Centrifugalpumpe und Ventilator 217, hessischer Blasebalg 219, Öfenkonstruktionen 221, Dampfkochtopf 224, Digestor 224, Spannkraft des Dampfes 225, Pulvermaschine 227, atmosphärische Maschine 228, Hochdruckmaschine 233, Dampfschiff 237, Ruderräder 238, schwefelige Säure 239, Luftkissen 239.
- Papnütio s. Panunzio.
- Pappos, Lebenszeit 33.
- Peter der Große, Dampfmaschine 295.
- Pfaff, Spannungsreihe 359, Kontakttheorie 360.
- Pfintzing, Mechaniker 97.
- Philipp der Kühne, Räderuhr 80.
- Philon, Mechanik 2, Lebensverhältnisse 32, Wesen der Luft 38, Heber 40, Öllampe 43, Rammbär 45.
- Picard, Pendelniveau 190, leuchtende Barometer 321.
- Pixii, magnetelektrische Maschine 408.
- Planta, Scheibenelektrisiermaschine 332.
- Platon, induktive Methode 17, technische Anwendung der Wissenschaft 28.
- Plinius, Leistungen 56.
- Plutarch, über Archimedes 27.
- Poggendorff, Dampfmaschine 232, Galvanometer (Kondensator) 376, Ohmsches Gesetz 392, Spiegelablesung 408, Klemmschrauben 426.
- Pohl, Voltasche Säule 362, magnetelektrische Maschine 401.
- Della Porta, Magia naturalis 87.
- Poselger, über Aristoteles 21.
- Pouillet, Ohmsches Gesetz 392.
- Prätorius, Mechaniker 97.
- Priestley, Brief Voltas an ihn 336, Voltasche Säule 365.
- Priscianus, De Ponderibus et mensuris 58.
- Ptolemaios Claudius, Planetensystem 57, 95, optische Untersuchungen 57.
- Ptolemaios Lagi, Alexandrinisches Museum 32.
- Pythagoras, Diatonische Tonleiter 13, Monochord 13.
- Ramsden, Scheibenelektrisiermaschine 332.
- Réaumur, Thermometer 289, 317, Kontraktion der Mischungen 289, Krampfische 353.
- Regiomontan, Werkstatt und Beobachtungen 96.
- Regnault, Luftthermometer 246.
- Reil, tierische Elektrizität 358.
- Reimann, Mechaniker 96.
- Reisel, Stuttgarter Experiment 169, Heber 207, Kapselkunst 217.
- Retzius, Hygrometer 350.
- Rey, Thermometer 166.
- Reyher, Sonnenmikroskop 274.
- Rhemnius s. Fannius.
- Riccioli, Gewicht der Luft 268.
- Richmann, Atmometer 327, elektrischer Gnomon 343, Tod 343.
- Rieß, Drehwage 342.
- Risner, Al Hazen 62, Lichtbrechung 67.
- Ritchie, magnetelektrische Maschine 400.
- Ritter, chemische Theorie des Galvanismus 360, Voltasche Säule 362, Galvanische Wasserzersetzung 366, Wasserzersetzungsgapparate 366, Polarisation der Säule 370, Ladungssäule 371, Trockensäule 371.
- Rivalto, Brillen 77.
- De Roberval, Luftpumpe 135, 156, Barometer 156, Gewichtsariometer 253.
- Ronalds, Telegraph 405.
- Royal Society, meteorologische Instrumente 261, Tiefenmesser 265, Regenmesser 204, Windstärkemesser 264.
- Van Royen s. Snellius.
- Rowe, Taucherschiff 308.
- Ruprecht von der Pfalz, Glathänen 193, Wasserriegel 216, Ruderräder 238.
- Sagredo, Thermometer 117, Luftdruck 153.
- Salviati, Luftdruck 153.
- Sanctorius, Thermometer 117.
- Sarpi, Magnetnadel 90.
- de Saussure, Haarhygrometer 326.
- Savery, Dampfmaschine 231.
- Saxton, magnetelektrische Maschine 403.
- Scaliger, Magnetnadel 90.
- Searlett, katoptrisches Mikroskop 329.
- Seheiner, astronomisches Fernrohr 123.
- Schilling von Canstadt, Telegraph 417.
- Schmidt, W., über Heron 32.
- Schoner, astronomische Arbeiten 96.
- Schott, Luftpumpe 132, Versuche damit 146, Feuerspritze mit Windkessel 214.

Schweigger, Multiplikator 375.
 Schwenter, mathematische Erquick-
 stunden 118, Pappenheimsche Kapsel-
 kunst 215, Taucherglocke 221.
 Scoliers, Fernrohr 115.
 Seebeck, Thermoströme 387.
 Seneca, Arbeiten 56.
 Senguerd, doppeltdurchbohrter Hahn
 199, Luftpumpe 200.
 Servington Savery, Magnetisieren mit
 einfachem Strich 346.
 Settele, Sümmerings Telegraph 407.
 Short, Spiegelteleskop 327, Herstellung
 der Spiegel 328.
 Sigand de la Fond, Scheibenelektrisie-
 maschine 332.
 Simon, Voltameter 369.
 Six, Thermometrograph 318.
 Sloane, Sekretär der Royal Society
 238.
 Smeaton, Luftpumpe 313, Hygrometer
 324.
 Smith, Spiegelteleskop 327.
 Snellius van Royen, Brechungsgesetz
 123.
 Sokrates, Brenngläser seiner Zeit 6,
 Induktive Methode 17, 113.
 Sokolow, Mitarbeiter Richmanns 344.
 Solms-Braunfels, Graf, Bergwerks-
 besitzer 209.
 Southwell, Einführung der Flüssigkeits-
 thermometer in England 167.
 Sprengel, Luftpumpe 207.
 Steinheil, elektromagnetischer Telegraph
 411, Farbschreiber 414.
 Stevin, Arbeiten 109, schiefe Ebene 110,
 hydrostatische Arbeiten 110.
 Stirling, Wassergebläse 314.
 Stöhrer, magnetelektrische Maschine 401.
 Strömer, Thermometerskala 293.
 Sturgeon, Voltasche Säule 364.
 Sturm, Lederventile 203, Gewichtsariö-
 meter 253, Deklination der Magnet-
 nadel 270.
 Sulzer, Berührungselektrizität 358.
 Susemihl, über Heron 32.
 van Swinden, Pendeluhr 122.
 Symmer, Wesen der Elektrizität 334, Po-
 sitive und negative Elektrizität 334.
 Syntesios, Ariometer 58.
 Tannery, über Heron 32.
 Tartaglia, Ballistisches Problem 109.

Terpander, Siebensaitige Kithara 12.
 Teuber, Hygrometer 263, Deklination
 der Magnethadel 271.
 Thales, Berechnung einer Sonnenfinster-
 nis 5, Urstoff 13, Astronomische und
 magnetische Kenntnisse 14.
 Theodorich der Große, Förderung der
 Wissenschaften 75.
 Theodorich von Freiberg, Regen-
 bogen 76.
 Theon von Alexandria 58.
 Thevenot, Röhrenlibelle 189.
 Thilorier, Flüssige Kohlensäure 393.
 Thuret, Pendeluhr 182.
 Torricelli, Barometer 153, Theoretische
 Arbeiten 153.
 Townley, Teilmaschine 248.
 Treffler, Pendeluhr 182.
 Treutler, Rede auf Landgraf Wil-
 helm IV. 100.
 Triewald, Luftzufuhr in die Taucher-
 glocke 311.
 Troschel, Mechaniker 96.
 Tschirnhaus, Linsen 189.
 Varro, Turm der Winde 53.
 de Vaux, s. Carra.
 Verulam, s. Bacon.
 Vesalius, Anatomie des Auges 86.
 Vico, H. de, s. Wiek.
 Vidi, Aneroid 322.
 Vincent, Diopter rekonstruiert 52.
 Vinci, s. Leonardo.
 Visconti, Feuerspritze 46.
 Vitruvius, Archimedes 28, Heron 33,
 Feuerspritze 46, Wasserorgel 51, Turm
 der Winde 53, Schall 55.
 Viviani, Erfindung des Thermometers
 117, Pendeluhr 121, 173, Barometer
 153, Flüssigkeits-Thermometer 166.
 Volckamer, Magnethadel 270.
 de Volder, Luftpumpe 201.
 Volta, Gegen die Electricitas vindex 336.
 Elektroskop 337, Kondensator 337, Be-
 rührungselektrizität 358, Spannungs-
 reihe 359, Fundamentalversuche 360.
 Walferdin, Registrirende Thermometer
 318.
 Walsh, Krampffische 353.
 von Waitz, Elektroskop 337, Messung
 der elektrischen Abstoßung 341.

- Walther, Astronomische Werkstatt 96.
 Watson, Verstärkungsflasche 333, Geschwindigkeit der Elektrizität 335.
 Weber, Magnetometer 408, Telegraph 409.
 Weidler, Barometer 321.
 Werner, Uhrmacher 97.
 Wheatstone, Geschwindigkeit der Elektrizität 335, Telegraph 419, Zeigertelegraph 421.
 Wiedemann, E., Al Hazens Schriften 65, 70.
 Wiek, Heinrich von, Räderuhren 82.
 Wilhelm IV., Landgraf von Hessen, Instrumente 99, 190.
 Wilkinson, Wassergebläse 207, Voltasche Säule 363.
 Wilson, Mikroskop 273, Elektrisiermaschine 331, Knights Magnete 346.
- Winkler, Elektrisiermaschine 331, Verstärkungsflasche 334, Tod Richmanns 343, Luftelektrizität 344.
 Witelo, Brechung des Lichtes 76.
 Wolff, Chr., Anemometer 327.
 Wollaston, Voltasche Säule 364.
 Worcester, Dampfmaschine 231.
 Wren, Hyperbolische Linsen 261.
- Zamboni, Trockensäule 372
 Zeiher, Metallthermometer 317, Thermometer mit wechselnder Empfindlichkeit 317, Aneroid 323.
 Zosimus, Destillation 9.
 Zucchi, Spiegelteleskop 285.
 Zumbach von Koesfeld, Magnethadel 271.

Verbesserungen.

- S. 76 Z. 11 von unten lies Theodorich statt Theoderich.
 S. 330 Z. 8 » » Hausen » Hansen.
 S. 368 Z. 1 » » 1804 » 1801.

